

**METSÄEKOSYSTEEMITUTKIMUS METLASSA -
NYKYTILA JA KEHITTÄMISTARPEET**

Heljä-Sisko Helmisaari, Seppo Kaunisto, Eino Mälkönen,
Tapani Tasanen ja Ilkka Vanha-Majamaa

Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus

Joulukuu 1998

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kirjasto

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskukselle

Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskuksen johtaja Eero Paavilainen asetti 4.2.1998 työryhmän, jonka tehtävänä oli selvittää Metsäntutkimuslaitoksen metsäekosysteemien toimintaa koskevan tutkimuksen, mukaan lukien metsänraja- ja paloekologinen tutkimus, nykytila ja kehittämistarpeet. Työryhmän puheenjohtajaksi nimettiin erikoistutkija Heljä-Sisko Helmisaari, jäseniksi prof. Eino Mälkönen, prof. Seppo Kaunisto, tutkija Ilkka Vanha-Majamaa ja kutsuttuna jäsenenä Kolarin tutkimusaseman johtaja Tapani Tasanen. Työryhmän tuli jättää esityksensä 30.11.1998 mennessä, mutta sille myönnettiin lisäaikaa 8.12.1998 saakka.

Työryhmä haluaa kiittää useita selvityksen työstämiseen osallistuneita henkilöitä. Kangasmetsien ekosysteemitutkimuksen koostamisessa avusti Aino Smolander. Suometsien ekosysteemitutkimuksen koostamisessa avusti suurin osa suontutkimuksen parissa työskentelevistä tutkijoista. Erityiskiitoksen panoksestaan ansaitsee Antti Reinikainen, joka valtaosin työsti suometsiä koskevan lopullisen version sekä Erkki Ahti, Marjut Karsisto ja Heikki Veijalainen, jotka myös avustivat raportin viimeistelyssä. Erkki Annila kommentoi monimuotoisuusosaa ja Tiina Tonteri paloekologiaosaa. Hannu Fritze avusti paloekologiaosan laadinnassa.

Saatuana työnsä päätökseen työryhmä luovuttaa selvityksensä Metsäntutkimuslaitoksen Vantaan tutkimuskeskukselle.

Vantaalla 8. päivänä joulukuuta 1998

Heljä-Sisko Helmisaari

Seppo Kaunisto

Eino Mälkönen

Tapani Tasanen

Ilkka Vanha-Majamaa

Sisällysluettelo

1. Metsäekosysteemitutkimus	5
1.1. Määritelmä	5
1.2. Taustaa	5
1.3. Ekosysteemitutkimuksen tarve ja merkitys	6
1.3.1. Ekosysteemin toimintojen ymmärtäminen	6
1.3.2. Metsien ekologinen kestävyys	6
2. Kangasmetsien ekosysteemitutkimus 1980- ja 1990-luvuilla	7
2.1. Taustaa	7
2.2. Aiempi ja nykyinen tutkimus aihealoittain	8
2.2.1. Metsäekosysteemin rakenne ja toiminta	8
2.2.2. Ympäristömuutosten vaikutukset kangasmetsäekosysteemien toimintaan	8
2.2.3. Metsien hoidon ja käytön vaikutukset kangasmetsäekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan	14
2.3. Tiedon taso ja tutkimusmustarpeet	16
2.3.1. Ekosysteemitutkimuksen osa-alueet	16
Biomassa, perustuotanto ja ravinteisuus	16
Ravinnekierron prosessit	18
2.3.2. Ympäristötekijöiden merkitys	19
2.3.3. Metsien rakenteen ja metsien hoidon ja käytön vaikutusten merkitys	20
3. Suometsien ekosysteemitutkimus 1980- ja 1990-luvuilla	21
3.1. Taustaa	21
3.2. Aiempi ja nykyinen tutkimus	22
3.3. Tiedon taso ja tutkimusmustarpeet	24
3.3.1. Perustuotanto (biomassan jakauma, tuotos ja allokaatio)	24
3.3.2. Sekundäärituotanto (kulutus, hajotus ja energiavirta)	25
3.3.3. Ainekierrot ja ainetaseet	26
Ravinteet	26
Hiili	28
Hydrologia ja ainevirrat vesissä	29
Sukessio	30

4. Monimuotoisuustutkimus metsäekosysteemin toiminnan kannalta	31
5. Paloekologinen tutkimus ja sen kehittämistarpeet	32
5.1. Taustaa	32
5.2. Metsäpaloihin liittyvä paloekologinen tutkimus	34
5.3. Kulotustutkimus	34
5.3.1. Maaperätutkimus	35
5.3.2. Puuston uudistuminen	36
5.3.3. Aluskasvillisuuden sukkessio	36
5.4. Kaskeaminen	37
6. Metsänraajatutkimus	37
6.1. Käsitteistä	37
6.2. Mihin metsänraajatutkimusta tarvitaan	38
6.3. Metsänraajatutkimus Metlassa	39
6.3.1. Metsänrajaekotonin perustutkimus	40
6.3.2. Metsänrajametsien uudistuminen, kasvu ja puulajidynamiikka	44
6.3.3. Metsänraja-alueiden käyttö ja suojele	47
6.4. Muut metsänrajaa tutkivat Metlan hankkeet	50
7. Yhteenveto	55
7.1. Kangasmetsien ekosysteemitutkimuksen kehittämistarpeet	55
7.2. Suometsien ekosysteemitutkimuksen kehittämistarpeet	56
7.3. Ekosysteemitason tutkimustarpeet monimuotoisuuden kannalta	58
7.4. Paloekologisen tutkimuksen kehittämistarpeet	59
7.5. Metsänraajatutkimuksen kehittämistarpeet	60
7.6. Lopuksi	61
8. Kirjallisuus	

1. Metsäekosysteemitutkimus

1.1. Määritelmä

Metsäekosysteemi on toiminnallinen kokonaisuus, jossa bioottinen osa (elävät oliot) ja abioottinen osa (ilma, maa- ja kallioperä) ovat yhtyneitä biologisten, kemiallisten ja fysikaalisten prosessien välityksellä. Metsäekosysteemi muodostuu eliöistä - kasveista, eläimistä ja mikro-organismeista - sekä niiden elinympäristöstä - maa- ja kallioperästä sekä ilmasta. Ekosysteemin toimintaa luonnehtivat toisaalta energia- ja ravinnevirrat sekä ravinteiden kierto ja toisaalta biomassan tuotanto sekä kuolleen orgaanisen aineen hajotus. Ekosysteemin eliöt ja niiden ympäristö ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa energia- ja ravinnevirtojen välityksellä.

Tässä yhteydessä ekosysteemitutkimus määritellään tutkimukseksi, jossa tarkastellaan monipuolisesti tietyn ekosysteemin rakennetta ja toimintaa (energiavirrat, ravinteiden kierto) ja ekosysteemin vuorovaikutusprosesseja.

1.2. Taustaa

Ekosysteemitutkimus on verraten nuorta ja pohjautuu moneen eri tieteenalaan, mm. geologiaan, maaperätieteeseen, hydrologiaan, mikrobiologiaan, meteorologiaan ja kasvifysiologiaan, ja on sidoksissa kunkin tieteenalan historialliseen kehitykseen. Varsinainen ekosysteemitutkimus käynnistyi Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa 1950-luvulla. Ekosysteemitutkimuksen aloittamisen mahdollistivat kemiallisen analytiikan kehittyminen ja suurten aineistojen käsittelyyn soveltuvat tietokoneet. 1960-luvun alussa käynnistettiin Kansainvälinen biologinen ohjelma (IBP), jossa pyrittiin selvittämään maapallon eri ekosysteemien rakennetta ja toimintaa. Ohjelma päättyi v. 1974.

Suuri osa 1960- ja 1970-luvun ekosysteemitutkimuksista jäi kuitenkin verraten lyhytaikaiseksi. Tällä hetkellä pisimpään jatkuneet tutkimukset ovat USA:ssa sijaitsevan Hubbard Brookin ekosysteemitutkimus, joka aloitettiin v. 1963 ja saksalainen Sollingin ekosysteemitutkimus. IBP:n jälkeen USA:ssa käynnistettiin Biomi-ohjelmia, joilla oli sama päämäärä. Nyt pystyttiin jo

hyödyntämään tietokonetekniikan kehitystä ja soveltamaan systeemianalyttistä lähestymistapaa, sekä kehittämään malleja ekosysteemeille tai niiden osille. 1970-luvun alussa monen ekosysteemitutkimuksen tavoitteena oli laatia ekosysteemimalli, mutta ennen pitkää luovuttiin malleista päämääränä, ja keskityttiin niiden käyttöön apuvälineinä, jotka auttavat ymmärtämään, selittämään ja ennustamaan ilmiöitä sekä testaamaan hypoteeseja.

Suomessa on tehty ekofysiologista tutkimusta esim. Helsingin yliopistossa (Metsikön perustuotannon tutkimusryhmä) 1970-luvulta lähtien. Myös ekosysteemin ravinnekiertoa koskevia tutkimuksia tehtiin 1970-luvulla Oulun ja Helsingin yliopistoissa ja Metlassa, mutta kenttätutkimukset jatkuivat vain muutamia vuosia. Eräs syy pitkäaikaisen ekosysteemitutkimuksen vähyyteen Suomessa on ehkä siinä, että metsäekosysteemitasoinen tutkimustraditio oli 1980- ja 1990-luvuille saakka suppeaa Metlassa, jossa muuten olisi ollut parhaat menetelmälliset (esim. ravinneanalytiikka) ja muutkin valmiudet käynnistää ja ylläpitää laajoja tutkimusohjelmia.

1.3. Ekosysteemitutkimuksen tarve ja merkitys

1.3.1. Ekosysteemin toimintojen ymmärtäminen

Ekosysteemitutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on ekosysteemin rakenteellisten osien sekä niitä yhdistävien prosessien ja vuorovaikutusten tunteminen. Mikäli metsäekosysteemin perustoiminnot tunnetaan, esim. ympäristömuutosten ja metsien hoidon ja käytön toimenpiteiden vaikutuksia voidaan ymmärtää ja ennakoida, ja haittavaikutuksia ehkäistä ja lieventää. Metsäekosysteemin perustoimintojen tunteminen auttaa myös tulkitsemaan suppeampien seurantatutkimusten tuloksia ja eri indikaattorien muutosten merkitystä metsäekosysteemissä.

1.3.2. Metsien ekologinen kestävyys

Ekologinen kestävyys on määritelty ja hyväksytty yhdeksi metsien käyttöä sääteleväksi perustekijäksi. Metsäekosysteemin toimintojen tunteminen on edellytyksenä metsien hoidon ja käytön kehittämiseksi ekologisesti kestäväälle pohjalle. Tämän vuoksi eri toimenpiteiden vasteita

tulee selvittää ekosysteemitasolla mahdollisten haittavaikutusten tunnistamiseksi ja lieventämiseksi. Tämä koskee erityisesti ravinnekiertoa, koska se on keskeinen tekijä kasvupaikan tuotoskyvyn ylläpitämisessä. Myös metsäekosysteemin toiminnallinen monimuotoisuus liittyy ekologiseen kestävyYTEEN.

2. Kangasmetsien ekosysteemitutkimus 1980- ja 1990-luvuilla

2.1. Taustaa

Metlan ekosysteemitutkimukset ovat pääosin käynnistyneet 1980- ja 1990-luvuilla, joskin jo 1970-luvulla tehtiin muutamia perusteellisia metsiköiden ravinnekierron tutkimuksia (esim. Mälkönen 1974, 1977). 1980-luvulla sai alkunsa *Ympäristön yhdennetty seuranta*, jonka puitteissa on tutkittu neljällä luonnontilaisella alueella metsäekosysteemien vastetta ympäristötekijöiden vaihtelulle (Integrated Monitoring... 1995). Viime vuosikymmenellä alkaneissa erillistutkimuksissa on selvitetty mm. eri kehitysvaiheen männiköiden ravinnekiertoa ja biomassatuotosta (*Männikön ravinnedynamiikka ja biomassan tuotos-* hanke 1983-1987, Helmisaari 1995). Metlan laaja *ILME-projekti* ajoittui vuosiin 1985-1990 (Hyvärinen ym. 1993).

Tällä vuosikymmenellä Metlan ekosysteemitutkimuksen luonteiset tutkimukset ovat suureksi osaksi sisältyneet *Metsien terveydentilan tutkimusohjelmaan* (Mälkönen 1998). Sen hankkeissa on keskitytty alueellisiin kysymyksiin (*Itä-Lapin metsävaurioprojekti, Länsi-Suomen ja Kaakkois-Suomen metsien tila*), metsäekosysteemien vasteeseen metsänhoitotoimenpiteille, varsinkin kalkitukselle ja lannoitukselle (*Metsien terveyslannoitus*) ja ilman epäpuhtauksille (*Ympäristön yhdennetty seuranta, Ilman epäpuhtauksien vaikutus metsäekosysteemin toimintaan, Metsäekosysteemin typensietokyky*). Tämän vuosikymmenen puolivälissä perustettiin ICP-näytealaverkosto, jolla seurataan intensiivisesti metsäekosysteemien vasteita ympäristötekijöiden muutoksille.

2.2. Aiempi ja nykyinen tutkimus aihealoittain

2.2.1. Metsäekosysteemin rakenne ja toiminta

Lähes kaikissa Metlan ekosysteemitutkimuksen luonteisissa tutkimuksissa aiheesta riippumatta on metsäekosysteemin rakenteellisia ja toiminnallisia osia selvittäviä tutkimusosioita.

Suomen Akatemian ja Metlan rahoittama tutkimus *Männyn ravinnedynamiikka ja biomassan tuotos* (Eino Mälkönen, 1983-1987) keskittyi männyn ravinnedynamiikan ja biomassantuotoksen ja niihin vaikuttavien tekijöiden määrittämiseen Ilomantsissa kolmessa eri kehitysvaiheen männikössä, joista kaksi vanhinta sisälsi myös typpilannoitetun koealan. Tutkimuksessa määritettiin metsikön ravinnevirtoja (vapaa sadanta, metsikkösadanta, maavesi) ja ravinteiden kiertoa (sisäinen ravinnekierto, karike, neulas- ja juurikarikkeen hajotus), sekä biomassan, biomassantuotoksen, ravinnemäärien ja ravinteiden käytön jakautumista puuston maanpäällisiin ja maanalaisiin ositteisiin sekä aluskasvillisuuteen (Helmisaari 1995).

2.2.2. Ympäristömuutosten vaikutukset kangasmaiden metsäekosysteemien toimintaan

Metlan laajassa *ILME-projektissa* (1985-1990) tutkittiin mm. laskeuman laatua ja maaveden koostumusta eri maakerroksissa avoimella paikalla ja erilaisissa metsiköissä, karikesatoa ja sen koostumusta sekä karikkeen hajoamista erilaisilla kasvupaikoilla, kangas- ja turvemaiden happamuutta ja ravinnetilaa, epifyyttijäkälää ja aluskasvillisuutta ympäristön tilan kuvaajina, latvuksen kuntoa ja puiden elinvoimaisuutta sekä metsätuhojen esiintymistä ns. ekstensiivi- ja intensiivinäytealoilla, jotka perustuivat VMI:n pysyvään näytealaverkostoon (Hyvärinen ym. 1993). Tässä hankkeessa metsäekosysteemien tutkimusta tehtiin noin 30 näytealalla seurannanluonteisesti. Eri parametreja ja prosesseja mitattiin eri näytealaverkostoissa, minkä vuoksi metsäekosysteemin vuorovaikutusten tutkiminen vaikeutui. ILME-projektin suurin ansio oli maaperän ja puuston kunnan pysyvän seurantaverkoston lisäksi tutkimusmenetelmien kehittäminen esim. laskeuman ja vajoveden osalta.

Ilman epäpuhtauksien vaikutus metsäekosysteemin toimintaan (Heljä-Sisko Helmisaari, 1992-1997) -tutkimushankkeen tavoitteena oli tutkia metsäekosysteemin toimintaa ja ilman epäpuhtauksien vaikutusta siihen, erityisesti neulas- ja hienojuurivaurioiden yhteyksiä metsiköihin kohdistuneeseen kuormitukseen. Hankkeen päätavoitteena oli laatia kohteeksi valituille ekosysteemeille ravinnetaseet, joiden avulla voidaan arvioida ravinnetilaa ja sen muutoksia. Ravinnekierron tunteminen antaa myös taustatietoa metsäekosysteemin eliöstössä havaittujen muutosten syiden selvittämiseksi. Tutkimushanke keskittyi raskasmetallien vaikutuksiin metsäekosysteemiin Harjavallan ympäristössä sijaitsevalla kupari-nikkeligradientilla. Tutkimushankkeessa määritettiin neljässä männikössä ravinnevirtoja (vapaa sadanta, metsikkösadanta) ja ravinteiden kiertoa (sisäinen ravinnekierto, karike, neulas- ja juurikarikkeen hajotus), puuston kasvun, biomassan määrän ja tuotoksen sekä ravinnemäärien jakautumista puuston maanpäällisiin ja maanalaisiin ositteisiin sekä aluskasvillisuuteen (Helmisaari ym. 1995, 1998).

Erillisen osahankkeen tavoitteena oli tutkia hienojuurten ominaisuuksien ja maan ritsosfääriin kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien yhteyttä ja määrittää hienojuurten ominaisuuksia, määrää ja kasvudynamiikkaa eri olosuhteissa sekä yhteyttä eri ympäristötekijöihin. Hienojuurten määrää ja kasvudynamiikkaa on tutkittu em. raskasmetalligradientilla (Helmisaari ym. 1998) sekä moniin erilliskysymyksiin keskittyvien hankkeiden koealoilla (esim. SNS:n rahoittama kuusikkotutkimus kolmessa eri metsikössä, joista kaksi Lapissa ja yksi Etelä-Suomessa, yhteensä 26 eri tavoin lannoitettua ja kalkittua koealaa (Helmisaari ja Hallbäcken 1998); SILMU-tutkimusohjelman rahoittama, Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen kanssa yhteistyössä suoritettu tutkimus, jossa selvitettiin hiilen määrää ja dynamiikkaa metsämaassa kolmessa kuusikossa Hyytiälässä).

Ympäristötekijöiden muutosten vaikutuksia kangasmaiden metsäekosysteemien toimintaan tausta-alueilla tutkitaan Metlassa tällä hetkellä hankkeissa *Metsäekosysteemin vaste ympäristötekijöihin* sekä *“Ympäristön yhdennetty seuranta: puusto- ja maaperätutkimukset pysyvillä koealoilla*.

Euroopan kattavaan ICP-ohjelmaan (intensiivitaso) kuuluvan seurantatutkimuksen *Metsäekosysteemin vaste ympäristötekijöihin (Hannu Raitio, 1995 - JATK)* tavoitteena on tutkia

metsäekosysteemin vastetta ympäristötekijöihin 31 valitussa havaintometsikössä (17 männikössä ja 14 kuusikossa) eri puolilla Suomea pitkällä aikavälillä. Tavoitteena on myös kehittää metsien terveydentilan seurantamenetelmiä ja tulosten tulkintaa. Tutkimuksessa seurataan jatkuvasti säätekijöitä, epäpuhtauksien pitoisuuksia ilmassa, laskeuman ja maaveden laatua sekä puuston kasvua. Maaperän ravinnetila määritetään 10 vuoden, puuston ravinnetila ja latvuksen kunto vuoden, ja aluskasvillisuuslajien peittävyudet 5 vuoden välein. Lisäksi määritetään fenologisena seurantana mm. metsikkökarikkeen määrää ja ravinnesisältöä. Em. mittausohjelma on täydellisenä 16 metsikössä, joskin näistä vain osassa (12 kpl) tehdään metsämeteorologista mittauksia.

ICP-näytealaverkosto kattaa maamme eri ilmastovyöhykkeet etelästä pohjoiseen ja lisäksi näytealat edustavat tyypillisiä kasvupaikkoja ja puulajeja (mänty ja kuusi). Alueellisesti hankkeen näytealaverkosto on varsin kattava. Tutkimusohjelma on useimpien mitattavien muuttujien osalta seurannan luonteinen (maaperän ravinnetila, neulasten ravinteet, aluskasvillisuuslajisto). Prosesseista määritetään laskeumaa ja maaveden koostumuksen muuttumista eri maakerroksissa, karikkeen määrää ja ravinnesisältöä sekä puiden sädekasvua. Metsämeteorologinen mittausohjelma on varsin kattava. Puiden sädekasvun ajallisen vaihtelun yhteys säätekijöihin eri puolilla Suomea sijaitsevilla metsiköissä on tämän hankkeen tärkeimpiä määritettäviä kokonaisuuksia eri muuttujien pitkäaikaisten aikasarjojen ohella. Aineistosta on mahdollista myös määrittää metsiköiden ainetaseita (input-output) käyttämällä apuna mallitarkasteluja niiden prosessien osalta, joita ei määritetä. ICP-näytealaverkosto antaa myös hyvät mahdollisuudet esim. metsänkäsittelytoimenpiteiden ja stressikäsittelyjen vaikutuksia selvittävälle kokeelliselle tutkimukselle.

ICP-tutkimus on suurelta osin lähinnä seurannan luonteista, joten kerättävän aineiston avulla kausaliteetteja voidaan määrittää vain rajoitetusti. Aineistosta saadaan esille eri muuttujien välisiä yhteyksiä (esim. sädekasvu ja sää sekä laskeuma). *ICP-ohjelmaa kehitettäessä kannattaisi pyrkiä siihen, että valituissa tutkimusmetsiköissä suoritetaan koko mittausohjelma täydellisenä.*

ICP-näytealaverkoston aineistosta saataisiin metsäekosysteemin perustoimintojen tuntemisen kannalta paljon suurempi hyöty, jos valittavissa metsikössä (esim. männikkösarja ja kuusikkösarja) läpi koko valtakunnan etelästä pohjoiseen) mitattaisiin kattavasti metsäekosysteemin

perustoimintoja (esim. puuston ja aluskasvillisuuden biomassan ja ravinteiden jakaumat, ravinteiden otto ja käyttö, hienojuuriston dynamiikka, maaperäprosesseja: mineralisaatio, rapautuminen jne.).

Ympäristön Yhdennetty Seuranta: puusto- ja maaperätutkimukset pysyvillä koelajoilla (Michael Starr, 1985-1998) (Integrated Monitoring, IM) kuuluu kansainväliseen tutkimusohjelmaan UN-ECE ICP on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems, joka on pitkäaikainen ekosysteemitutkimusohjelma. Ohjelma suoritetaan useiden tutkimuslaitosten yhteistyönä (Metla, GTK, Ilmatieteen laitos, SYKE, alueelliset ympäristökeskukset). Suomessa mukaan kuuluu neljä valuma-aluetta luonnontilaisissa metsissä. Metlan vastuualueeseen kuuluvat seuraavat osaohjelmat: metsikkömittaukset ja -kartoitukset, metsien kunto, neulaskemia ja karikke, maaperän ja maaveden kemia, maaperän mikrobiologia ja laskeuma.

Ympäristön Yhdennetyin Seurannan näytealat sijaitsevat neljällä eri alueella Lammilla (Valkea-Kotinen), Lieksassa (Hietajärvi), Kuusamossa (Pesosjärvi) ja Utsjoella (Vuoskojärvi). Kaksi aluetta (Kuusamo ja Utsjoki) on yhdistetty ICP-ohjelmaan (intensiivitaso), ja kahdella muulla (Lammi ja Lieksa) seurantaohjelma jatkuu ainakin vuoden 1999 loppuun.

Tutkimusohjelman tavoitteena on ainetaseiden laadinta ja ravinnekierron määrittäminen luonnontilaisissa sekametsissä, ja se mahdollistaa vertailut eri maissa sijaitsevien valuma-alueiden välillä. Aineistoa käytetään ekosysteemien vasteiden määrittämiseen esim. vähentyneille päästöille ja ennustemallien kehittämiseen ja soveltamiseen. Tutkimusohjelmasta on juuri ilmestynyt 10-vuotisraportti (Boreal Environmental Research- 3, 1998).

YYIS-tutkimusohjelma on monipuolisin metsäekosysteemin tutkimusohjelma Suomessa. Ohjelma on tutkimuslaitosten välinen, ja siinä tehdään tieteenalarajat ylittävää ekosysteemitason yhteistyötä. Aineistossa on joitakin puutteita, sillä esim. hienojuuriston dynamiikkaa ei ole tutkittu, mutta siitä huolimatta se antaa mahdollisuuden monipuolisiin tarkasteluihin. Intensiivisten metsikkökohtaisten mittausten kytkeminen valuma-alueitasolle on tehtävä, josta suoriutuminen olisi merkittävä edistysaskel.

Boreaalisen metsäekosysteemin toipuminen pitkäaikaisesta raskasmetallilaskeumasta (Heljä-Sisko Helmisaari, 1997-1999) -tutkimuksen päätavoitteena on määrittää boreaalisen metsäekosysteemin toipumista pitkäaikaisesta raskasmetallilaskeumasta lisäämällä orgaanista ainetta ja kasvittamalla saastunut maa-alue kestävillä kasvilajeilla. Tällä tavoin pyritään luomaan paremmat olosuhteet maaperän pieneliöstön hajotustoiminnalle ja toimivan humuskerroksen syntymiselle. Kenttätutkimukset keskittyvät raskasmetalleilla saastuneen metsämaan kunnostamiseen Harjavaltaan perustetuilla koealoilla. Tutkimuksessa seurataan em. käsittelyjen vaikutusta männyn, koivun, variksenmarjan ja sianpuolukan menestymiseen (eri ositteiden biomassa, kasvu ja ainesisältö), maaperäeliöstön elpymiseen (mikrobibiomassa ja sen raskasmetallitoleranssi), ja raskasmetallien huuhtoutumiseen maaperästä (maaperän ja vajoveden raskasmetallimäärät).

Veden imeytyksen vaikutukset maaperään ja kasvillisuuteen - VIVA (Heljä-Sisko Helmisaari, 1996-1998) - tutkimushankkeessa on määritetty muutoksia maaperässä, kasvillisuudessa ja vajoveden laadussa pintavettä imeytettäessä tekopohjavedeksi Ahveniston harjulla Hämeenlinnassa. Tutkimuksessa on määritetty mm. muutoksia maaperän happamuudessa ja ravinnetilassa ja typen kierrossa (nitrifikaatio, denitrifikaatio), vajoveden ja pohjaveden koostumuksessa, aluskasvillisuuden ja puiden ravinnetilassa, aluskasvillisuuslajistossa sekä puiden kasvussa ja juuristobiomassassa (Helmisaari ym. 1998, Lindroos ym. 1998). Näiden kysymysten lisäksi hanke on tuottanut uutta tietoa mm. typen kierron prosessien vasteesta maan happamuuden ja kosteuden muutoksille.

Ravinnedynamiikka ja biomassan allokaatio eri puulajeille: typpilaskeuman ja kuivuuden vaikutus (Ilari Lumme, 1997-2001) -tutkimushankkeen tavoitteena on tutkia kenttä-, kasvihuone- ja kasvatuskammiokekein typen märkälaskeuman ja kasvukauden alussa ilmenevän kuivuuden yhdysvaikutuksia kuusen, männyn ja rauduskoivun ravinne- ja biomassadynamiikkaan puiden eri kehitysvaiheissa. Lisäksi tutkitaan typpilaskeuman, kuivuuden ja puulajin vaikutuksia maaperän mikrobistoon. Kenttätutkimus suoritetaan Sahalahdella ja Heinolassa sijaitseissa kuusikoissa, joissa on neljä erilaista käsittelyä: katteeton ja lannoittamaton vertailuala, katteeton typpilannoitettu ala, katettu lannoittamaton koeala sekä katettu typpilannoitettu koeala. Tutkimus keskitetään kolmeen aihepiiriin: 1) Puiden hienojuuriston kasvudynamiikka ja sen yhteys

maanpäällisten osien kasvudynamiikkaan. 2) Typen ja muiden ravinteiden otto sekä puiden sisäinen ravinnedynamiikka. 3) Hiilen ja typen kiertoon liittyvät mikrobitoinnot maaperässä sekä puulajin ja puiden ritsosfääriin vaikutus maamikrobistoon.

Abioottisten ja bioottisten ympäristötekijöiden vaikutukset hiilen ja typen assimilaatioon ja valonsidontaan puuvartisilla kasveilla (Elina Vapaavuori, 1995-1998) - tutkimushanke koostuu seuraavista neljästä fysiologisesti ja ekofysiologisesti painottuneesta osatutkimuksesta, jotka toteutetaan pääosin Suonenjoen tutkimusasemalla: 1) Ilmastonmuutoksen vaikutukset rauduskoivun ja männyn hiili- ja typpimetaboliaan; 2) Juurten kautta otetun epäorgaanisen hiilen merkitys biomassan tuotossa: typen eri muotojen vaikutukset ja vaikutusmekanismit; 3) Havumetsiköiden neulaspinta-alaindeksin estimointi latvuston rakenne-säteilymallien avulla ja 4) Rauduskoivukloonien erot reaktioissa abioottisiin ja bioottisiin ympäristötekijöihin. Tutkimuksissa pyritään tuottamaan perustietoa siitä, miten puuvartiset kasvit, taimivaiheesta metsikkötasolle, reagoivat ympäristöön ja sen tilassa tapahtuviin sekä abioottisiin että bioottisiin muutoksiin. Tutkittavia ympäristötekijöitä ovat ravinteiden saatavuus, valo (etenkin metsikön rakenteen vaikutus sen valonsidontaominaisuuksiin) ja bioottiset tuhot (herbivoria), jotka osassa suunniteltuja tutkimuksia kytetään ilmastonmuutoksen keskeisiin komponentteihin, CO₂-pitoisuuden ja UV-B -säteilyn nousuun ilmakehässä. Koska on odotettavissa, että ympäristön tilassa tapahtuvat muutokset vaikuttavat voimakkaasti kasvien elintoimintoihin, kasvien reaktiot näihin muutoksiin on tunnettava, jotta niiden merkitys puiden kasvuun ja biomassan tuottoon voitaisiin luotettavasti ennustaa.

Joensuun yliopiston metsätieteellisessä tiedekunnassa on ollut laaja tutkimushanke *Ilmastonmuutoksen vaikutus boreaalisen metsäekosysteemin dynamiikkaan ja sen metsänhoidolliset vaikutukset* (Seppo Kellomäen tutkimusryhmä). Kenttätutkimuksissa on altistettu metsässä kasvavia nuoria mäntyjä kohonneilla CO₂-pitosuuksilla ja lämpötilalla ja seurattu puiden perusfysiologiaa, yhteyttämistä, hengitystä, kasvua sekä sen ajoittumista ja allokaatiota. Tuloksia on käytetty ilmastonmuutoksen metsävaikutuksia ennustavissa malleissa (Kellomäki 1996). SILMU-loppuraportin perusteella (Kuusisto ym. 1996) on arvioitu, että Suomen ilmaston ja olosuhteiden kannalta keskeisiä ongelmia (ja tutkimustarpeita) ovat edelleen pohjoisten alueiden ilmaston erityispiirteet (Atlantin vaikutus, otsonikysymys), boreaaliset ja

subarktiset maaekosysteemit (metsät, suot) - erityisesti biosfäärin osuus kasvihuonekaasujen kierrossa, ja aineiden huuhtoutuminen ja kierto sekä vaikutukset vesiekosysteemiin.

Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksella (Pertti Harin tutkimusryhmä) yhteistyössä fysiikan laitoksen kanssa tutkitaan Hyytiälän metsäaseman läheisyydessä sijaitsevassa männikössä ilman ja laskeuman koostumuksen sekä säätekijöiden vaikutuksia metsikön perustoimintoihin valuma-alueella. Tutkimuksessa kehitetään ja hyödynnetään myös metsikkötason malleja.

2.2.3. Metsien hoidon ja käytön vaikutukset kangasmetsäekosysteemin rakenteeseen ja toimintaan

Kangasmaiden viljavuus ja sen hoito (Eino Mälkönen, 1997-2001). Hankkeen yleistavoitteena on tuottaa tietoa metsien hoidon ja käytön ekologisista perusteista kestävästä puuntuotantosta varten. Ekosysteemitutkimuksen kannalta keskeisimpiä kysymyksiä ovat:

- metsämaiden luontainen viljavuus ja maannosten ominaisuuksien merkitys metsänhoidon tarpeita arvioitaessa,
- puuston biomassan korjuuasteen vaikutus maan ravinteisuuteen ja kasvatettavan puuston kehitykseen,
- hidasliukoisten lannoitteiden, puuntuhan ja kalkituksen käyttömahdollisuudet ravinnekierron tasapainoittamiseksi ja maan happamoitumiskehityksen lieventämiseksi,
- ravinnesuhteiden vaikutus puun biomassatuotoksen allokointumiseen,
- biomassayhtälöiden laatiminen männylle ja kuuselle.

Tähän hankkeeseen on yhdistetty pitkäaikaisia lannoitus-, hakkuutähde-, kulutus- ja maanmuokkauskoesarjoja aikaisemmista, jo päättyneistä hankkeista (*Kangasmetsien ravinteisuuden hoito, Metsän terveyslannoitus, Eino Mälkönen*). Eri koesarjojen intensiivisemmillä kokeilla on mitattu puuston ja maaperän ravinnetilan lisäksi suuri määrä biomassakoeputia, minkä lisäksi on analysoitu mm. karikesatoa ja maaveden laatua. Aineiston perusteella on mahdollista tehdä metsikkötason ainetasetarkastelua erilaisten toimenpiteiden yhteydessä.

Metsäekosysteemin typensietokyky (Aino Smolander, 1992-1997). Hankkeen tavoitteena oli selvittää, millaisen riskitekijän typpikuormitus ajan mittaan aiheuttaa metsäekosysteemin kehitykselle. Typpikuormituksen vaikutuksia on selvitetty sekä turkistarhojen lähimetsissä että pitkäaikaisten lannoituskokeiden avulla ja lisäksi kasvihuone- ja kasvatuskaappikokein.

Eryityisesti on tarkasteltu: 1) runsaan ammoniakki- ja ammoniumlaskeuman vaikutusta puiden kasvuun, maan kemiallisiin ominaisuuksiin ja nitrifikaatioon, 2) miten typen tarjonnan pitkäaikainen lisäys muuttaa metsäekosysteemin biomassan tuotosta ja ravinnesuhteita, ja miten avohakkuu vaikuttaa typen mineralisaatioon ja immobilisaatioon, typen häviöihin ja niitä aiheuttaviin tapahtumiin sekä maan happamuuteen tyypellä kuormitetussa metsikössä, sekä 3) kuusentaimien typenottoa märkälasseumasta, laskeuman typen kulkeutumista taimessa ja maassa sekä sen vaikutuksia taimien kasvuun, ravinnesuhteisiin ja kylmänkestävyyteen.

Tässä hankkeessa on saatu paljon uutta tietoa typen kierron prosesseista maaperässä, ja miten eri metsänkäsittelytoimenpiteet vaikuttavat niihin (Smolander ym. 1997).

Puuntuhkan ja sen sisältämien raskasmetallien ympäristövaikutukset (Hannu Fritze, 1997-2000). Hankkeen tavoitteena on vastata ajankohtaiseen kysymykseen, voidaanko puuntuhkaa käyttää metsänlannoitteena kangas- ja turvemaille niin, ettei siitä huuhtoudu ravinteita haitallisessa määrin vesistöihin ja etteivät tuhkan sisältämät raskasmetallit (etenkin kadmium) aiheuta haittaa maaperän eliöyhteisölle. Tavoitteena on myös selvittää, haittaako tuhkalannoitus metsän monikäyttöä ja sienten ja marjojen käyttöä.

Metsänuudistamisen vaikutus kasvupaikkatekijöihin ja ympäristöön (Eero Kubin, 1997-2000). Hankkeen tavoitteena on tuottaa tutkimustietoa metsätalouden vesiensuojelutoimenpiteiden tueksi. Tutkimuksissa selvitetään empiirisesti ja mallintaen hakkuun ja maankunnostuksen vaikutusta vesistöihin ja niitä tekijöitä, joista vesistövaikutukset aiheutuvat. Lisäksi tutkitaan suojavyöhykkeiden ja suotautumisalueiden käyttöä vesistöjen suojelemiseksi.

Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kiertoon (Leena Finér, 1990-?). Hankkeessa selvitetään avohakkuun, maanmuokkauksen ja ojanperkauksen vaikutuksia veden ja ravinteiden kiertoon kangas- ja suometsien valuma-alueilla. Lisäksi tutkitaan lysimetrikokeiden avulla ravinteiden vapautumista ja huuhtoutumista maaprofiilista eri muokkausmenetelmiä käytettäessä.

Tutkimusta varten on perustettu kokeita viidelle valuma-alueelle sekä turvemaiden vanhoille ojitusalueille että varttuneisiin kangasmetsiin. Kalibrointijakson jälkeen yksi kangasmaan ja yksi turvemaan valuma-alue on jätetty kontrollialueeksi. Muilla valuma-alueilla on tehty hakkuu- ja uudistamistoimenpiteitä niitä edellyttävillä metsikkökuvioilla. Koejärjestelyyn kuuluvia toimenpiteitä kangasmaalla ovat siemenpuuhakkuu, avohakkuu sekä maanmuokkaus ja istutus, turvemaalla vastaavasti: suojuspuuhakkuu, avohakkuu sekä ojien perkaus, mätästys ja istutus.

Tutkimuksella pyritään saamaan tietoa uudistamistoimenpiteiden vaikutuksista valuma-alueiden ainetaseisiin sekä vesistöihin kohdistuvasta kuormituksesta. Tulosten perusteella voidaan kehittää metsänuudistamistoimenpiteitä maan viljavuuden säilyttämiseksi ja ympäristöhaittojen vähentämiseksi.

Vuonna 1999 alkavassa hankkeessa *Puulajin merkitys metsämaan viljavuudessa (Aino Smolander, 1999-2003)* tavoitteena on tutkia niitä mekanismeja, joilla eri puulajit vaikuttavat maan viljavuuteen. Hankkeessa tutkitaan orgaanisen aineen laatua, mikrobitoimintoja, ravinteiden mineralisaatiota, rapautumista ja huuhtoutumista, juurten syvyysjakumaa, kasvua ja hajotusta, sekä ritsosfäärin mikrobitoimintoja.

2.3. Tiedon taso ja tutkimustarpeet

2.3.1. Ekosysteemitutkimuksen osa-alueet

Biomassa, perustuotanto ja ravinteisuus

Puuston maanpäällinen tilavuus ja tilavuuskasvu tunnetaan hyvin. Sensijaan maanpäällinen ja varsinkin maanalainen biomassa ja sen tuotanto on heikosti tunnettu. Maanpäällistä biomassaa ja

sen tuotosta puun eri ositteissa on tutkittu liian vähän, vaikka joitakin tutkimuksia on tehty lannoitustutkimusten yhteydessä (Mälkönen ym. 1985, Mälkönen ja Kukkola 1991, Hallbäcken ym. 1998).

Varsinkin puun neulasmassa ja sen dynamiikka (määrä ja ravinnekoostumus) vaikuttaa oleellisesti biomassatuotoksen jakautumiseen koko puun tasolla. Puun neulasmassan sisältämän typpimäärän ja biomassatuotoksen välillä on selvä yhteys. Koska biomassan ja biomassatuotoksen määrittäminen on työlästä ja kallista eikä mahdollista kaikkien tutkimushankkeiden yhteydessä, tarvitaan laajaan biomassakoeppuaineistoon perustuvia biomassayhtälöitä, joiden avulla eri puulajiemme biomassaa ja biomassatuotosta eri kasvupaikoilla voitaisiin estimoida riittävän luotettavasti. Tätä työtä tehdään parhaillaan Vantaan tutkimuskeskuksessa, ja tuloksia on odotettavissa lähivuosina. Tähän mennessä on ollut käytettävissä ainoastaan ruotsalaiseen koeppuaineistoon perustuvat yhtälöt.

Maanpäälliseen kasvuun vaikuttavat paitsi kasvutekijät myös hiilihydraattien allokoituminen maanalaisen ja maanpäällisen biomassan välillä sekä juuriston kunto, mikä vaikuttaa ravinteiden ja veden ottoon. Tarvitaan tutkimusta, joka tähtää puiden maanalaisen ja maanpäällisen biomassadynamiikan vuorovaikutusten selvittämiseen. Hienojuuriston biomassaa ja tuotosta on määritetty kangasmailla viime vuosina parissakymmenessä metsikössä eri tutkimusten yhteydessä (Helmisaari ja Hallbäcken 1998, Makkonen ja Helmisaari 1998, Helmisaari ym. 1998), mutta esim. eri kasvupaikkoja käsittelevää vertailukelpoista aineistoa puuston biomassan ja biomassatuotoksen jakaumasta ei ole käytettävissä. Mykorritsatutkimusta on hienojuuritutkimukseen liittyen tehty yhteistyössä Joensuun ja Kuopion yliopistojen kanssa.

Hienojuuriston biomassaa ja tuotosta ja muita hienojuuriin liittyviä muuttujia (juurten pituus/massayksikkö, mykorritsojen määrä) tulisi määrittää kaikissa niissä tutkimuksissa, joissa tarkastellaan puuston maanpäällistä biomassaa ja tuotosta. Myös puuston maanpäällisen ja maanalaisen kasvudynamiikan (kasvun määrä ja ajoittuminen) tutkiminen samoissa metsiköissä antaisi uutta tietoa kasvun ohjautumisesta metsikön tasolla.

Ravinnekierron prosessit

Yleisesti ottaen maanpäälliset prosessit ja niiden väliset vuorovaikutukset tunnetaan suhteellisen hyvin maassa tapahtuviin prosesseihin verrattuna. Tämä pätee puulajeistamme kuitenkin lähinnä mäntyyn, esim. puun sisäinen ravinnekierto ja sen merkitys kuusella on heikosti tunnettu. Metsäkasviyhdyksuntien kasvuedellytykset määräytyvät ilmastotekijöiden lisäksi pääosin kasvupaikan ravinteisuuden ja vesitalouden perusteella. Molempiin vaikuttaa myös maaperän rakenne. *Mineraalien rapautuminen ja ravinteiden vapautuminen kuolleesta kasvimateriaalista hajotuksessa (mineralisaatio) tunnetaan ravinteiden saatavuuteen vaikuttavista maaprosesseista heikoimmin.* Lyhytaikaisia karikkeen hajotustutkimuksia on tehty, mutta mineralisaatiota ei ole kvantitatiivisesti määritetty metsikkötasolla Suomessa. *Mineralisaation kvantitatiivinen määrittäminen varsinkin hiilen ja typen suhteen edellyttää eri karikelajien tuotannon ja hajotusnopeuden määrittämistä sekä hiili/typpimallien käyttöä.* Suuri syy minaralisaation kvantitatiivisen määrittämisen puutteeseen on se, ettei *Metlalla ole ravinnekierron mallitukseen perehtynyttä tutkijaa.*

Maamikrobiologinen tutkimus on menetelmiltään nopeasti kehittyvä ja Metlassa hyvin edustettu tieteenala, jossa hajotusnopeuksien lisäksi tutkitaan mikrobibiomassoja, mikrobiaktiivisuuksia ja esim. typen kierron prosesseja (esim. Smolander ym. 1998) sekä mikrobiyhteisöjä (esim. Fritze ym. 1998, Pennanen 1998). Toimiva mikrobisto on metsämaan ravinteisuuden perusedellytys. Mikrobitoiminnot parantavat maan viljavuutta ja puiden ravinteiden saatavuutta, mutta voivat johtaa myös ravinnehäiriöihin ja ympäristöongelmiin huuhtoutumisen ja kaasupäästöjen kautta.

Mikrobitoimintojen tutkimuksen sitominen esim. huuhtoutumis-, juuristo- ym. tutkimukseen olisi Metlassa mahdollista ja antaisi paljon uutta tietoa. Tämä työ on meneillään pienessä mittakaavassa.

Rapautuminen on heikosti tunnettu prosessi ja sen kvantitatiivinen määrittäminen on vasta alkuvaiheessa. Rapautumisen arviointiin voidaan käyttää malleja (esim. Profile) tai muita menetelmiä (esim. zirkoniumin rapautumiskestävyyteen perustuva menetelmä), mutta rapautumisarvioita on tehty sangen rajoitetusti (Lindroos ym. 1998). Ravinnetaselaskelmissa, joissa määritetään emäsravinteiden input-output-taseita, olisi tärkeää pystyä arvioimaan myös

rapautumalla kasvien saataville tulevat ravinnemäärät.

Ravinteiden otto on myös prosessi, jonka suora kvantitatiivinen määrittäminen maastossa on lähes mahdotonta, minkä vuoksi *metsäpuiden ravinteiden otosta eri olosuhteissa tiedetään varsin vähän*. Kvantitatiivisesti ravinteiden ottoa voi määrittää ravinnebudjeteista, joissa on yhdistetty biomassan ja ravinteiden kierron dynamiikka (esim. Helmisaari 1995). *Tärkeitä tutkimustarpeita on myös se, missä määrin kasvit voivat hyödyntää orgaanista tyyppä, mikä on mykoritsojen merkitys rapautumisessa ja ravinteiden otossa ja mikä on juuriston lähellä elävän ritsosfäärimikrobiston merkitys ravinteiden mineralisoijana ja toisaalta ravinteista kilpailijana.* Ritsosfääri, josta ravinteet otetaan, eroaa muusta maasta kemiallisesti ja mikrobiologisesti. Ritsosfäärin merkitys ja siinä tapahtuvat toiminnot ravinteiden otossa tunnetaan heikosti. Hiilen allokaatiota juurieritteisiin ja juurieritteiden merkitystä ravinnedynamiikassa ei tunneta. Maaperäeläinten merkityksestä maaperän ravinteisuuden parantajana tiedetään lähinnä Jyväskylän yliopiston tutkimusten perusteella.

Laskeuman laatua ja määrää eri puulajien metsiköissä tutkittiin laajalti ILME-projektissa, mutta suuri osa tuloksista on raportoimatta. Laskeuma ja vajovesi sekä maanpäällinen kariketuotanto sisältyvät myös ICP-ohjelmaan, joten näistä prosesseista saadaan ICP-ohjelman välityksellä runsaasti uutta tietoa.

2.3.2. Ympäristötekijöiden merkitys

Ympäristötekijöistä vesi tunnetaan ehkä heikoimmin. Kasvukautisten kuivuusjaksojen vaikutusta metsäekosysteemissä ei ole juuri tutkittu, koska on oletettu, ettei metsäpuillamme esiinny veden puutetta. Tämä oletus voi kuitenkin olla kyseenalainen - esim. ilmastonmuutoksen on ennustettu muuttavan sademääriä. Lisäksi viime vuosina (kulunutta kasvukautta lukuunottamatta) on ollut pitkiä kasvukautisia kuivuusjaksoja, joiden epäillään vähentäneen esim. kuusen kasvua. Koska ravinteet kulkeutuvat pääosin veden välityksellä, veden puute voi usein olla myös ravinteiden puutetta. Näiden kahden kasvutekijän vaikutusten erottaminen on vaikeaa maastossa, mutta tutkimuksessa tyyppien ja kuivuuden yhteisvaikutuksista (*Ilari Lumme 1997-2001*) pyritään tähän.

Sama pätee maan lämpötilan ja ravinteiden saatavuuden suhteen. Maan lämpötilan vaikutusta puiden fysiologiaan tutkitaan tällä hetkellä Suonenjoen tutkimusasemalla (*Elina Vapaavuori*) ja Joensuun yliopistossa.

Maaperän orgaaninen aine ja sen dynamiikka tunnetaan myös heikosti, vaikka sen muutokset ovat oleellisia arvioitaessa ilmastonmuutoksen biologisia vaikutuksia. Metlassa ei esim. ole kunnan hiilitasehanketta. Maaperän hiilitase on edelleenkin myös kansainvälisesti eri ekosysteemityyppien hiilitaseista heikoimmin tunnettu.

2.3.3. Metsien rakenteen ja metsien hoidon ja käytön vaikutusten merkitys

Metsien rakenteellisista tekijöistä puulajeista, puulajisuhteista ja niiden ekologisesta merkityksestä esim. metsien sukkessiossa ja maan puuntuotoskyvyn kehittämisessä pitkällä aikavälillä ei ole riittävästi tietoa. *Puulajin vaikutus maaperään ja aluskasvillisuuteen tunnetaan heikosti.* Myöskään aluskasvillisuuden ja maaperän vuorovaikutuksiin ei ole kiinnitetty riittävästi huomiota. Toisaalta myös pääpuulajiemme maanpäällinen ja maanalainen kasvudynamiikka eri kasvupaikoilla tunnetaan heikosti, vaikka sillä olisi suuri merkitys esim. puulajivalinnassa ja sekametsiköiden kasvatuksessa.

Ekosysteemitutkimuksen luonteinen tutkimus on parin viimeisen vuosikymmenen aikana suuntautunut ympäristömuutosten ja metsätalouden ympäristövaikutusten selvittämiseen. Tarkastelukulmana on useimmiten ollut se, miten metsien hoidon ja käytön toimenpiteet vaikuttavat vesistöjen tilaan. Metsämaiden puuntuotoskyvyn ylläpitämisen kannalta olisi kuitenkin tärkeää tietää, miten eri toimenpiteet vaikuttavat kasvupaikan ekologiseen kestävyYTEEN ja miten eri toimenpiteitä pitäisi kehittää viljavuuden ylläpitämiseksi.

Kasvupaikan viljavuuden ja hoidon kannalta metsän uudistamisvaihe on tärkein. Silloin ravinteiden menetys puunkorjuun ja huuhtoutumisen takia on suurimmillaan, mutta toisaalta maankunnostuksella ja puulajivalinnalla voidaan parantaa kasvupaikan viljavuusominaisuuksia. *Uudistamistoimenpiteiden vaikutuksia taimettumiseen ja uuden puuston kasvuun on selvitetty*

lukuisin tutkimuksin, mutta uutta tietoa tarvittaisiin ekosysteemitasolla. Maan orgaanisen aineen sekä eri puulajien ja sekapuustojen merkitystä tulisi selvittää ekosysteemin toiminnan ja kestävyuden ymmärtämiseksi. Eri toimenpiteiden kokonaisvaikutus saadaan selville vain riittävän pitkäaikaisten ekosysteemitutkimusten avulla.

Mikäli metsiämme halutaan hoitaa kestävästi, olisi myös metsien hoidon ja käytön toimenpiteiden tutkimukseen saatava ekosysteeminäkökulma toiminnan kestävyuden arvioimiseksi. Tämä edellyttäisi, että tutkittaisiin myös metsien hoidon ja käytön toimenpiteitä ainetaseisiin sekä energia- ja ravinnevirtoihin.

3. Suometsien ekosysteemitutkimus 1980- ja 1990-luvuilla

3.1. Taustaa

Tässä katsauksessa suometsien ekosysteemitutkimuksella ymmärretään suoekosysteemin rakenteen, toimintojen ja yhteisöllisten prosessien analyysia sekä näihin kohdistuvia vaikutustutkimuksia. Toiminnat, jotka ilmenevät systeemin energiataloutena ja aineenvaihduntana, ryhmitellään seuraavasti: perustuotanto, sekundäärituotanto, hajotus ja energian virta sekä aineiden kierrot ja taseet. Viimemainitussa erotellaan veden, hiilen ja ravinteiden kierrot. Ekosysteemien keskeinen yhteisöllinen prosessi on sukkessio. Käsittelyn ulkopuolelle jätetään tutkimukset, jotka kohdistuvat em. toimintojen pienempiin osaprosesseihin (esim. toimenpide/kasvu -reaktiot) elleivät ne oleellisesti täydennä ekosysteemitutkimuksessa saatavan tiedon aukkoja.

Suoekosysteemin erikoisluonne itseään ylläpitävänä ja kasvupaikan muuttumista säätelevänä järjestelmänä on helpottanut ekosysteemimalliin pohjautuvan lähestymistavan käyttöä myös suometsäekologisessa tutkimuksessa. Niinpä tämä tutkimusote on ollut näkyvässä etenkin suometsähydrologiassa jo paljon ennen määritellyn ekosysteemiviitekehyksen 1960-luvulla tapahtunutta omaksumista (esim. Huikari 1959). Myös soistumisen ja ojituksen jälkeisen kasvillisuusmuutoksen tutkiminen sukkessioilmiönä voidaan nähdä varhaisena edeltäjänä varsinaiselle ekosysteemitutkimukselle (esim. Sarasto 1957).

3.2. Aiempi ja nykyinen tutkimus

Metsäbiologiseen tutkimukseen ekosysteemidoktriini tuli konkreettisimmin MAB-ohjelman kautta 1970-luvun alussa. Metlassa suoekosysteemin rakenne- ja toimintamalliin perustuva tutkimus alkoi v.1973. Projektissa, joka usean laitoksen yhteishankkeena nimellä 'Luonnontilaisten ja metsäojitettujen soiden vertaileva ekosysteemianalyysi' v. 1977 solmi kolmivuotisen tutkimussopimuksen SA:n kanssa, tutkittiin perustuotantoa, kokonaishajotusta, maaperäeläinyhteisöjä, ravinnepäästöjä ja hydrologiaa. Kohteena oli lähinnä karu keidasrämekompleksi ja sen metsänparannusmuutunnaiset. Perustuotantoa kartoitettiin kattavammalla suotyypivalikoimalla (Reinikainen ym. 1984, Vasander 1990). Projektin päätulokset on esitetty loppuraportissa (Reinikainen ym. 1981).

LAVAME (1978-1988) ja *PERA* (1978-1987). Metlan suontutkijoita oli osittain em. hankkeen kanssa samanaikaisesti mukana Kemira OY:n tukemassa LAVAME-projektissa (Lannoituksen vaikutus metsäekosysteemiin) 1978-1988. Turvemaiden osalta tämä projekti kartutti tietoa mm. lannoituksen vaikutuksesta kasvibiomassaan ja lajidiiversiteettiin (Vasander ym. 1994). 1970-luvun lopussa myös PERA-projektissa (Puu energian raaka-aineena 1978-1987) oltiin kiinnostuneita biomassan kokonaistuotoksesta ja sen jakautumisesta, ja tietoa erityisesti pienpuuston biomassoista on siitä lähin kertynyt runsaasti (mm. Ferm 1990).

Ravinnekierto-tutkimukset. Suontutkimusosastolla suoritettiin 1974-78 intensiivinen tutkimus lannoituksen vaikutuksesta kasvibiomassan jakaumaan ja ravinteiden kiertoon ojitetulla rämeellä (Paavilainen 1980). Tälle perustyölle ovat olleet luonnollista jatkoa Finérin (mm. 1989, 1991) tutkimukset (SNS ja Suomen Akatemia 1984-1988) biomassan ja ravinteiden dynamiikasta erilaisissa suometsissä. 1980-luvun kuluessa selvisi, että turpeen ja metsikön eri biomassakomponenttien ravinnesisältö, siirtymät ja poistumat sekä metsänkäsittelyn vaikutukset niihin on välttämätöntä tuntea turvemaiden kestävänsä metsänkasvatuksen edellytyksinä (Kaunisto & Paavilainen 1988).

SUOSILMU (Erkki Ahti, Marjut Karsisto 1990-1995). Soiden rooli hiilen kierrossa, joka oli 1970-luvulta lähtien syvenevästi tiedostettu (Pakarinen 1975, Silvola & Hanski 1979), nousi

kasvihuoneilmion ja hiilitasetutkimusten tärkeäksi osa-alueeksi. Sittenkin on käynyt yhä ilmeisemmäksi, että ekosysteemissä tapahtuva orgaanisen aineen tuotanto ja hajoaminen sekä veden, rakenneaineiden ja mineraalien kierrot nivoutuvat kokonaisuudeksi, jossa monia ilmiöitä on hyödyllistä lähestyä ekosysteemimallin tarjoamien analogioiden avulla. Pääosa hiilitasetutkimuksista tehtiin Metlan ulkopuolella.

Turvemaiden ravinnetalous ja kestävä puuntuotanto (Seppo Kaunisto 1992-1999). Hankkeessa on kerätty runsaasti ekosysteemitutkimusta tukevaa ravinnedataa sekä turpeesta että puista ja selvitetty puiden ravinnetilan taustalla toimivia puiden fysiologisia prosesseja. Viimeksi on keskitytty erityisesti turpeen typpipitoisuuden sekä mikrobitoiminnan, puuston ravinnetilan ja puuston kasvun välisiin vuorosuhteisiin, mutta aineistot ovat vielä pääasiassa työn alla.

Metsätalouden vesistövaikutukset (Erkki Ahti 1990-1996). Hanke kuului poikkitieteelliseen METVE-projektiin, jossa kunnostusojituksen vaikutukset hydrologiaan ja kiintoaineiden kulkeutumiseen olivat etualalla. METVEN osahankkeista tärkeimmät jatkuvat Metlan tutkimusohjelmassa *Metsätalouden ympäristökuormitus (Erkki Ahti, 1996-2000).*

Kunnostusojituksen ja suometsien lannoituksen vaikutus vesi- ja ravinnevirtoihin (1996-2000, Ahti). Hankkeessa mitataan kunnostusojituksen aiheuttamaa kuormitusta empiirisesti. Erityisen mielenkiinnon kohteena on fosforin huuhtoutuminen ja sen sitoutuminen erilaisiin turvemaalajeihin. Tarkoituksena on selvittää, mistä turpeiden fosforipitoisuuden ja fosforinpidätyskyvyn erot aiheutuvat ja minkälaisessa muodossa lannoitefosfori olisi annettava puuston fosforinsaannin turvaamiseksi aiheuttamatta kuitenkaan vesistöjä rehevöittäviä fosforin huuhtoumia.

Kunnostusojituksen puuntuotannolliset edellytykset (Erkki Ahti 1996-2001). Hankkeessa tutkitaan erityisesti ojitusalueilla vesitaseseen vaikuttavaa puiden vedenottoa ja pidäntä.

Suoekosysteemitutkimukseen läheisesti liittyvää tutkimusta on tehty myös seuraavissa jo aikaisemmin kangasmaiden yhteydessä esitellyissä projekteissa.

ILME projekti (1985-1990).

ICP-ohjelman seurantatutkimuksen "Metsäekosysteemien vaste ympäristötekijöihin" (Hannu Raitio 1985-). Ollaan valmistelemassa neljää intensiivikoealaa suolle.

Ympäristön yhdenmety seuranta (Mike Starr 1985-1999). Tutkimusalueisiin on sisällytynyt myös soita.

Metsänterveyslannoitus (Eino Mälkönen, Heikki Veijalainen, 1991-1997). Hankkeessa oli myös 11 suokoetta, joista yksi Harjavallan raskasmetallilaskeuman vaikutusten ja vaurioiden korjaamisen selvittämistä.

Puuntuhkan ja sen sisältämien raskasmetallien ympäristövaikutukset (Hannu Fritze, Mikko Moilanen 1997-2000). Hankkeessa on pääpaino soilta tapahtuvissa ainehuuhtoumissa ja raskasmetallien siirtymisessä maassa sekä niiden kertymisessä sieniin ja marjoihin sekä soilla että kankailla.

Metsän uudistamisen vaikutus kasvupaikkatekijöihin ja ympäristöön (Eero Kubin, Mika Nieminen 1997-2000). Hankkeessa tutkitaan turvemaiden osalta avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutusta ravinnekiertoon ojitusalueella. Tutkimuksen pääpaino turvemilla on huuhtoutumisessa, mutta myös laskeuman ja maaveden kemiallisesta koostumuksesta samoin kuin emissioista ja hakkuutähteiden hajoamisesta saadaan tietoa.

Avohakkuun ja maanmuokkauksen vaikutus veden ja ravinteiden kiertoon (Leena Finér 1990-).

3.3. Tiedon taso ja tutkimustarpeet

3.3.1 Perustuotanto (biomassan jakauma, tuotos ja allokaatio)

Luonnontilaisten soiden kasvibiomassat ja perustuotanto hallitaan välttävästi lähinnä Etelä-Suomen suotyypin maanpäällisen biomassan osalta (Reinikainen ym. 1984, Vasander 1990). Tieto juuristobiomassoista on edelleen hyvin puutteellista. Metsänparannustoimenpiteiden (ojituksen ja lannoituksen) vaikutus perustuotantokoneistoon tunnetaan eräiden esimerkkien osalta

tarkasti (Paavilainen 1980, Finer 1991), mutta tiedon kasvupaikkakattavuus on keho (Reinikainen 1981a, Vasander 1990). Kuva maanalaisesta biomassasta ja sen uusiutumisesta ojitetuilla soilla on nopeasti tarkentunut SILMU-projektissa (Finér & Laine 1994, 1998). Sen määrä ja merkitys hiilen kierrossa on osoittautunut arvioitua suuremmaksi.

Tällä hetkellä Metlan suontutkimukseen ei kuulu varsinaisia perustuotannon tutkimuksia. Niitä joudutaan suorittamaan ravinteiden kierron ja ainetaseiden tutkimuksen yhteydessä. ICP-seurantahankkeen koaloilla niiden tulisi kuulua rutiiniin.

Tutkimustarpeet jakautuvat (1) ekstensiivisiin ja (2) intensiivisiin. (1) Koska kasvibiomassan ja sen dynamiikan tunteminen luo pohjan ainetaseiden ja ravinteiden kierron tutkimukselle tulee tietoa erilaisten suoekosysteemien, sekä luonnontilaisten että käsiteltyjen perustuotannosta kasviyhdyskunnan kaikissa osissa suunnitelmallisesti kartuttaa. Tämä ei tarkoita kymmenien suotyyppien erillistä tutkimista, vaan pohjana voidaan käyttää soiden jakoa toiminnallisiin tyyppeihin (ks. esim. Eurola & Huttunen 1990). Tietoa Pohjois-Suomen turvemaista on tuskin nimeksikään. Tietoa kasvibiomassan dynamiikasta voidaan käyttää aineiden kierron ja taseiden tutkimustulosten alueelliseen yleistämiseen. (2) Analyysin kasvibiomassan dynamiikasta tulee kuulua itsestään selvänä osana kaikkiin intensiivisiin suoekosysteemin ravinteiden kiertoa ja ainetaseita käsitteleviin uusiin tutkimuksiin. Se on yksinkertaisin keino parantaa vaativien ja kalliiden tutkimusten tulosten yleistettävyyttä.

3.3.2 Sekundäärituotanto (kulutus, hajotus ja energian virta)

Luonnontilaisten soiden sekundäärituotannon tutkimus on lähes pysähtynyt 1970-luvun lopun tasolle. Eläinten merkitys sekä suon aine- ja energiataloudessa painottuu vahvasti turpeen maaperäeliöstöön, jolla on etenkin välillisesti (nk. esihajottajina) vaikutusta orgaanisen aineen hajoamiseen. Maaperäeläimistön runsaudesta ja biomassoista sekä ojituksen vaikutuksesta niihin on rajoitetusti alustavia tietoja (esim. Markkula 1981). Soiden energiavirrassa muiden eläinten kautta kulkeva haara on ohut mutta usein lajirikas (ks. esim Mikkola 1976).

Hajotustoimintaa on aikaisemmin tutkittu hajotustesteillä, joista eniten käytetty on ollut sellutesti (mm. Karsisto 1979, Tuominen 1981, Lähde 1996). Testimateriaalina on enevässä määrin käytetty myös ekosysteemin omia karikkekomponentteja. Viime aikoina mikrobiaktiivisuuden ja mikrobibiomassojen määrittymenetelmät ovat nopeasti kehittyneet (esim. Karsisto 1996) ja käsitys esim. mikrobistoon sitoutuneen hiilen ja typen osuudesta parantunut. Hajotusaktiivisuuden analyysi kytkeytyy tietenkin sekä ravinteiden mobilisaation että ainetaseiden tutkimukseen.

Energiavirrasta luonnontilaisella rämeellä on esitetty alustava karkea laskelma (Reinikainen 1981b). Siinä korostuu mikrobien ja varsinaisen hajotuksen suuri osuus suoekosysteemin energiankäytössä. Hajotuksen ja turpeen akkumulaation suhde, joka suuresti vaihtelee suotyypeittäin, muuttuu voimakkaasti ojituksen vaikutuksesta. Viimeaikaiset hiilitasetutkimukset ovat lisänneet tietoa tästä muutoksesta (esim. Laine ym. 1996).

Hajotustoimintaa turvemaalla tutkitaan Metlassa tällä hetkellä lähinnä typen mineralisaatioon vaikuttavien tekijäin analyysin yhteydessä (Sarjala, Karsisto).

Soiden kuluttajiin (eläimiin) kohdistuvat perustutkimustarpeet ovat suuret, mutta ne eivät liity läheisesti suometsätaloudellisiin tutkimustarpeisiin. Hajottajamikrobiston tunteminen ekologisina ja eri aineita hajottavina toiminnallisina ryhminä sekä esim. mykorritsaa muodostavan lajiston tunteminen ovat tehtäviä, joita turvemaiden mikrobiologiselle tutkimukselle on järkevää asettaa erityisesti kestävä ravinnetalouden tutkimuksen sisällä osatavoitteiksi.

3.3.3 Ainekierrot ja ainetaseet

Ravinteet

Luonnontilaisten soiden ravinnevaroista on jonkin verran tietoa (esim. Westman 1981), mutta ravinnedynamiikasta on hyvin vähän kvantitatiivisia tutkimustuloksia (Vasander 1981). Ojitettujen soiden ravinteiden kierron tutkimuksen pohjana ovat ravinne-ekologiset tutkimukset, joissa teemana on ollut luontaisen ravinteisuuden ja lannoituksen vaikutus puuston kasvuun. Varsinaisia ravinteiden kierron analyysija on vähän, mutta päätelmiä voidaan jossain määrin rakentaa osaprosesseja koskevan tiedon varaan. Paavilaisen (1980, 1984) ja Finérin (1989, 1991)

tutkimukset ovat perustana käsityksillemme ojitettujen soid, erityisesti rämeiden, ravinnekierrosta. Kuusta ja koivua ravinnekierron kannalta on käsitelty vain Finérin tutkimuksissa ja koivua myös metsitettyjen suopeltojen tutkimuksissa (Ferm 1990). Metsikön ja puun sisäisen kierron pääpiirteet hallitaan näiden tutkimusten perusteella. Tutkimusten kasvupaikkakattavuus on huono.

Varsinaisiin metsikön ravinnekierron tutkimuksiin liittyy varsin vähän tietoa ekosysteemin input- ja outputravinteista. Tiedetään, että reunavaikutteiset alueet poikkeavat ravinnevaroiltaan ja tilanteeltaan edukseen keskustavaikutteisista (Kaunisto & Paavilainen 1988). Outputkomponenteista on ojiin joutuva huuhtouma tarkimmin tunnettu valumavesien laatuun kohdistuneiden tutkimusten ansiosta (mm. Ahti 1993). Puunkorjuun vaikutuksesta suometsäekosysteemin ravinnevaroihin on vähän suoraa tietoa (Kaunisto 1996). Erityisesti kaliumin mutta myös fosforin runsas sitoutuminen puubiomassaan on havaittu (Kaunisto & Paavilainen 1988) ja uhka kaliumvarojen ehtymisestä tiedostettu (Kaunisto 1996). Kokopuunkorjuussa poistuu jopa 50% puuston maanpäällisten osien kaliumista. Typpivarat kasvavat ojituksen jälkeen, joten muuttuva ravinnetasapaino liittyy ojitusalueiden ikääntymiseen. Ravinnetasapainoltaan häiriytyneiden suopuustojen ravinnejakaumasta on yksi pieneen aineistoon perustuva julkaisu (Reinikainen & Silfverberg 1983). Suometsien kasvatushakkuiden ja uudistamisen vaikutuksesta ravinnevaroihin ja ravinteiden poistumaan on vasta alustavia tuloksia. Tiedetään, että avohakkuun jälkeen erityisesti kaliumia huuhtoutuu ensimmäisinä vuosina suuria määriä (Nieminen 1998) Laskeuman vaikutukset suometsien ravinnekiertoon ovat huonosti tunnetut (Pätilä & Nieminen 1990, Veijalainen 1994). Sama koskee lannoituksen yhteydessä tulevaa raskasmetallien ym. vieraiden aineiden joutumista ekosysteemiin.

Kokonaisvaltaista ravinteiden kierron tutkimusta suometsissä ei Metlan nykyhankkeissa ole käynnissä. Turpeen ravinnevaroja (Finér), typen mobilisaatiota (Sarjala), hakkuiden vaikutusta ravinnetilaan (Penttilä, Hökkä), ravinnetalouden hoitoa (Moilanen) ja korkeatuottoisten kuusikoiden ravinnetaloutta (Silfverberg) tullaan tutkimaan v. 1999 aloittavassa suo-ohjelmassa.

Turpeen ravinnevarojen ja ravinnekierron osaprosessien (input, output, mobilisaatio) erillinen analyysi voi useassa tapauksessa olla riittävää. Erityisen tärkeitä olisi koota Metlassa oleva runsas ravinneanalyysiaineisto tietokannaksi. Turveanalyysia käyttävissä tutkimuksissa tulisi pyrkiä näytteenotossa ja analyyseissa standardiin, joka takaa tulosten mahdollisimmin suuren

käyttökelpoisuuden kaikenlaisissa ravinnetalouden tutkimuksissa (diagnostiikka, kasvuvasteet, ekosysteemin ravinnedynamiikka).

Tähänastinen ravinnedynamiikan tutkimus on tärkeimpänä yleistuloksenaan paljastanut että ekosysteemin ravinnevarojen, mobilisaation, allokaation sekä systeemiin tulevien ja sieltä lähtevien ravinteiden kvantitatiivinen tunteminen kuuluu kestävän suometsätalouden harjoittamisen keskeisiin edellytyksiin. Suometsien ravinnekierron runkotutkimukset (Paavilainen 1980, Finér 1989, 1991) tarvitsevat täydennykseksi kattavuuden parantamista toiminnoiltaan eri tyyppisten (korpisten, nevaisten) ja puulajisuhteiltaan vaihtelevien ojitusalueiden ekosysteemien suuntaan. Nämä selvitykset on riittävästi liitettävä myös tutkittavan ekosysteemin ulkopuoliseen luontoon seuraamalla ainevirtoja ympäristöstä ja ympäristöön. Metsätalouden toimenpiteiden ja ympäristön muutosten vaikutukset kiertoon on tutkimusaiheina priorisoitava niiltä osin kuin on perusteltuja hypoteeseja niiden aiheuttamasta ravinnepoistumasta, immobilisaatiosta tai tasapainohäiriöistä. Ojituksen jälkeen muuttuvassa suoekosysteemissä aika-akseli on erityisen tärkeä: mm. toisen puusukupolven ravinne-ekologisten kasvatusedellytysten tutkimiseen on panostettava.

Yksittäisiä tiedonpuutteen alueita ovat mm.: (1) hakkuiden, uudistamisen ja kunnostusojituksen yhteydessä vapautuvien ravinteiden alkuperä ja kohtalo; poistuvatko systeemistä vai jäävätkö kiertoon, miten ravinteiden karkaaminen minimoidaan. (2) Hivenaineiden, raskasmetallien sekä myös radioaktiivisen laskeuman käyttäytyminen suometsän ravinnekierrossa. (3) Ympäristön muutoksen, laskeuman ja ilmaston lämpenemisen vaikutus ravinteiden mobilisaatioon ja sitä kautta koko kiertoon.

Hiili

Soiden hiilitasetutkimus on 1990-luvulla tapahtunut SILMU-projektissa, johon Metlan tutkijoita on osallistunut. Peruskysymyksenä on ollut, ovatko ojitetut suot hiilen sitoja (nieluja) vai vapauttajia (lähteitä). Hiilen tase on liitetty välittömästi myös hiilen kierrossa syntyvien kasvihuonekaasujen, hiilidioksidin ja metaanin emissioihin. Myös typen kierron tutkimuksiin Metlassa on panostettu.

Ahdin (1996) tutkimuksen mukaan hiilivarasto karun rämeen 80 cm:n pintaturpeessa pikemminkin kasvoi 85-vuotisen ojitusvaikutuksen aikana kuin väheni. Tulos oli samansuuntainen muilla menetelmillä tehtyjen määritysten kanssa (Laine ym. 1996) kanssa. Finér & Laine (1996) tutkivat hienojuurten tuotantoa ja hajoamista ojitetuilla soilla ja totesivat niiden suhteen oleelliseksi tekijäksi koko suon hiilitaseessa. Karsiston (1996) tulokset toivat uusien menetelmäsovellutusten avulla lisätietoa turpeen mikrobiyhteisöjen biomassoista, sammalbiomassan hajoamisesta ja ravinteiden mobilisaatiosta eräillä luonnontilaisilla ja ojitetuilla suotyypeillä. Hiilidioksidiemission ja puustobiomassaan sitoutuvan hiilen suhdetta ojitustehoon ja lannoitukseen tutkittiin myös tuottaen tuloksia, jotka täydentävät kuvaa ojitetun suon muuttuvasta hiilitaseesta (Hartman ym. 1996).

Biologiin kiertoihin liittyvät ainetasetutkimukset eivät tällä hetkellä jatku Metlassa. Niiden painopiste on HY:n metsäekologian laitoksella. Metlan tutkijat osallistuvat edelleen osatehtäviin, joilla on suometsätaloudellista merkitystä.

Suometsätaloudellisten ratkaisujen kannalta hiilen sidonnan ja kasvihuonekaasujen emission välinen suhde on tärkeä. Vaikka SILMU-ohjelma antoikin runsaasti vastauksia tämän hetken hiilitasekysymyksiin, on mahdollinen ilmaston muutoksen vaikutus suometsien hiilitaseeseen vielä avoin. Myöskään eräiden suometsien hoitotoimenpiteiden, kuten esim. lannoituksen vaikutusta SUOSILMU:ssa ei käsitelty.

Hydrologia ja ainevirrat vesissä

Suometsähydrologisella tutkimuksella on vahva traditio Metlassa. Ojitusalueen vesitaloutta on lähestytty mittaamalla hydrologisia perussuureita ojitusteholtaan (sarkaleveys, ojasyvyys) vaihtelevilla koekentillä, jolloin valuma-alueen perusyksikkönä oli sarka. Puunkasvatuksen kannalta järkevät ojitustekniset suositukset saatiin näiltä koekentiltä. Syntyi myös käsitys ojituksen vaikutuksesta tärkeimpiin hydrologisiin muuttujiin (esim. Ahti 1977). 1980- ja 1990-luvuilla on siirrytty yhä enemmän tutkimaan turvemaiden vesitasetta vertailuparimenetelmällä todellisilla valuma-alueilla.

Valumavesien laadun tutkimus liitettiin hydrologisiin mittauksiin jo varhain (esim. Karsisto &

Ravela 1971). Nykyisin vesi- ja ravinnetasetutkimukset liittyvät saumatta toisiinsa. Aikaisemmissa tutkimuksissa (METVE) on todettu, että kunnostusojitus ei olennaisesti muuta ojavesien kemiallisia ominaisuuksia ja näin kasvupaikalta poistuvia veteen liuenneita ainemääriä. Alustavien tulosten mukaan sen sijaan uudistushakkuut lisäävät voimakkaasti ravinteiden määriä ojavesissä ja saattavat näin muuttaa kasvupaikan ravinnetilaa ja aiheuttaa ravinteiden lisäämistarvetta.

Myös puuston kasvatusvaiheessa tarvitaan monissa tapauksissa lannoitusta kasvun ylläpitämiseksi tai lisäämiseksi. Lannoitefosforin huuhtoutumista pidetään vesistöjen kannalta vahingollisena, koska se saattaa aiheuttaa niiden liiallista rehevöitymistä. Fosforin huuhtoutumisen pelko onkin pysäyttänyt lannoitustoiminnan soilla lähes kokonaan. Fosforin huuhtoutumisalttius vähenee raudan määrän lisääntyessä turpeessa, mikä taas korreloi positiivisesti turpeen typpipitoisuuden kanssa. Tutkimuksia fosforin huuhtoutumisesta nykyllannoitteista on kuitenkin vasta hyvin suppeina käynnissä. Fosforin ja kaliumin huuhtoutumisesta ja pidättymisestä erityisesti hakkuiden, muokkauksen ja lannoituksen seurauksena tiedetäänkin toistaiseksi aivan liian vähän.

Lisää empiiristä tietoa tarvitaan suopuustojen vedenotosta, haihdunnasta ja pidännästä. Tieto on suoraan hyödynnettävissä kunnostusojitustarpeen arvioinnissa sekä hakkuiden ja kunnostusojituksen keskinäisessä ajoittamisessa. Olisi hyödyllistä kytkeä veden- ja ravinteidenoton tutkimus keskenään.

Fosforin ja kaliumin huuhtoutumisesta uudistushakkuiden ja yleensäkin hakkuiden sekä maanmuokkauksen ja lannoituksen yhteydessä erityisesti huonosti fosforia pidättävillä turpeilla tarvitaan lisätietoa. Samoin tarvitaan lisää tietoa fosforin turpeeseen pidättymisen kemiallisista perusteista ja mahdollisuuksista vähentää sen huuhtoutumista kasvupaikalta.

Suksessio

Ojitetun suon ekosysteemissä aika on tärkeä tekijä, jonka vaikutusta tunnetaan vain pinnallisesti. Puuston kasvureaktioiden ja kasvillisuuden muuttumisen perusteella suon muuttuminen kangasmetsäekosysteemiä ulkonaisesti muistuttavaksi turvekankaaksi on voitu sukkessiona kuvata

(Sarasto 1961 ym.). Hypoteeseja ja epäsuoria päätelmiä kasvupaikan ja ekosysteemin muiden osien muuttumisesta paralleelisesti kasviyhteisön kanssa on voitu tehdä.

Puuston ja kasvillisuuden kehitystä ojitusalueilla seurataan edelleen useassa Metlan tutkimushankkeessa (Kaunisto, Penttilä, Ojansuu, Reinikainen).

Lisätietoa kasvillisuuden muuttumisesta tarvitaan alueellisen (Pohjois-Suomi) kattavuuden parantamiseksi sekä luokittelun kehittämiseen että metsäojituksen aiheuttaman monimuotoisuusmuutoksen kokonaisarviointiin. Perustuotannon ja kasvibiomassan dynamiikan muuttumista ei riittävästi tunneta sukkession funktiona. Sama koskee analogisesti ravinteiden sitoutumista ja allokaatiota. Turpeen hajoaminen ja biokemiallinen koostumus sekä ravinteiden mobilisaatio ovat ne prosessit, joista ensisijaisesti kaivataan lisätietoa sukkession myötä muuttuvina ilmiöinä.

4. Monimuotoisuustutkimus metsäekosysteemin toiminnan kannalta

Metlan metsien monimuotoisuuden tutkimusohjelmassa (Erkki Annila, 1995-1999) keskitytään metsäluonnon biologisen monimuotoisuuden ja metsävarojen kestäväen käytön välisten suhteiden tutkimiseen. Metlassa on käynnissä useita tutkimushankkeita, joissa tutkitaan monimuotoisuutta eri tasoilla. Tutkimusohjelma jakaantuu neljään osaan, joista esitetään ne hankkeet, jotka suoraan liittyvät ekosysteemitason tutkimukseen tai joiden tuloksia voitaisiin jatkossa käyttää merkittävästi apuna ekosysteemitason tutkimuksessa ja sen kehittämisessä.

1. Monimuotoisuuden indikaattorit, mittaaminen ja valtakunnallinen seuranta

Valtakunnan metsien inventointi: Metsien monimuotoisuuden arvioiminen (Erkki Tomppo, 1997-2002),

Kasvillisuuden monimuotoisuus metsäekosysteemin tilan ja muutoksen ilmaisijana (Antti Reinikainen, 1993-1998),

Metsä- ja suokasvillisuuden muutokset Suomessa 1950-luvulta nykypäivään (Erkki Tomppo, 1997-2002).

2. Luonnontilaisten metsien sukkessio ja dynamiikka

Luonnontilaisten metsien kehitys (Antti Isomäki, 1993-1999),

3. Metsien rakenteen ja käsittelyn vaikutukset monimuotoisuuteen

Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa (Juha Siitonen, 1995-1999),

Metsien rakenteen ja käsittelyn vaikutukset monimuotoisuuteen (Erkki Annila, 1993-1999),

4. Alueellinen metsäsuunnittelu ja monimuotoisuus

Biodiversiteetti ja metsien käytön talous (Olli Tahvonen, 1997 - 2000).

Suuri osa metsien monimuotoisuuden -tutkimusohjelman tutkimuksesta keskittyy jollakin tavoin metsäekosysteemien toimintaan (Annila 1998). Toiminnalliseen monimuotoisuuteen liittyvää tutkimusta tehdään kuitenkin niukasti. Yleensä hankkeet keskittyvät yhteen tai kahteen näkökulmaan, laajempi ekosysteemitason tutkimus puuttuu pääosin.

Ekosysteemitasoon liittyvää tutkimusta tehdään kuitenkin mm. siitä miten erilaiset metsänkäsittelyt vaikuttavat ekosysteemin eliölajistoon, toimintaan ja lajiston palautumiseen (Kaila 1998). Tutkimusohjelman hankkeista monet ovat jollakin tapaa kytkettyinä Suomen Akatemian biodiversiteettitutkimusohjelmaan. Tätä kautta löytyy yhteyksiä moniin myös toiminnalliseen monimuotoisuuteen suuntautuneisiin tutkimuksiin.

5. Paloekologinen tutkimus ja sen kehittämistarpeet

5.1. Taustaa

Boreaalisisissa luonnonmetsissä tuli, myrsky ja hyönteistuhot vapauttavat kasvutilaa ja käynnistävät samalla luonnonmukaisen sukkession. Tämän vuosisadan kuluessa tulen vaikutuksissa suomalaiseseen metsäluontoon on tapahtunut suuria muutoksia. Kaskiviljelyn loppuminen ja sen vaikutusten näkyminen enää vain itäsuomalaisessa metsäluonnossa (Tonteri ym. 1990) ja metsäpalojen tehokas torjunta ovat aiheuttanut sen, että nuoria metsäpalojen jälkeisiä sukkessio-vaiheita on niukasti. Metsäpalojen nykyinen merkitys Suomen metsien kehitykseen on siten tällä hetkellä melko vähäinen (Metsätilastollinen...1997).

Suomessa on nykyään vuosittain keskimäärin 500 metsäpaloa ja palojen määrä on pysynyt suunnilleen samana viimeisten vuosikymmenten aikana. Vuotuisen paloalueen kokonaispinta-alan sijaan on laskenut viime vuosikymmenten kuluessa. Paloalueiden keskikoko oli vuosina 1865–1870 131 ha ja tämän vuosisadan alkupuolella Pohjois-Suomessa 40 ha ja Etelä-Suomessa 18 ha (Saari 1923). Vuodesta 1980 lähtien paloalueen keskikoko on koko maassa ollut keskimäärin enää 0,9 ha ja on siten laskenut merkittävästi neuvonnan ja sammutustoiminnan tehostumisen myötä. Vuodesta 1980 on palanut vuodessa keskimäärin 500 ha (Metsätilastollinen...1997). Luonnontilaisissa metsissä paloalueiden keskikoko lienee ollut metsien rakenteellisista eroista johtuen ja sammutustoiminnan kokonaan puuttuessa vielä viime vuosisadan keskikokoa suurempi. Rikkonaisuudesta topografiasta, tuhansista järvistä ja soista johtuen kovin laajat latvapalot eivät liene aikaisemminkaan olleet kovin yleisiä Fennoskandiassa (Haapanen & Siitonen 1978). Metsäpalojen maisematason vaikutusten arviointia maastamme ei kuitenkaan ole käytettävissä.

Tietämys metsäluonnon palonjälkeisestä kehityksestä on yllättävän vähäinen. Jopa avohakkuu rinnastetaan usein vaikutuksiltaan metsäpaloon, vaikka avohakkuun ja metsäpalon vaikutukset poikkeavat toisistaan monien tekijöiden suhteen. Myöskään pystypuuston palamisen jälkeisestä sukkessiosta ei ole kunnollisia seurantatietoja, vaan usein oletetaan, että avohakatuun ja kulotetun metsän sukkessio olisi lähes samankaltainen pystyyn palaneen metsän kanssa. Metsäpaloissa puusto ei kuitenkaan yleensä tuhoudu kokonaan ja kuollutkin puusto usein jää pystyyn palon jälkeen jopa vuosikymmeniksi, mikä vaikuttaa sukkessioon (Vanha-Majamaa 1998).

Tällä hetkellä Suomessa on meneillään osin metsäpalodynamiikkaan liittyvää tutkimusta mm. Suomen Akatemian rahoittamassa FIBRE-ohjelmassa, mm. Helsingin yliopistossa projekti *Metsän rakenne ja monimuotoisuus luonnon- ja talousmetsissä*. Joensuun yliopistossa on meneillään mm. projektit *Metsäpalojen ja kaskeamisen historia ja vaikutukset metsän monimuotoisuuteen ja Pintakasvillisuuden sukkessio ja monimuotoisuuden säätely luonnon- ja talousmetsissä*. Monet muutkin eri yliopistojen ja mm. SYKE:n tutkimushankkeet sivuavat ainakin osin paloekologista tutkimusta. Meneillään olevien projektien ei kuitenkaan voi katsoa olevan varsinaisesti laajoja paloekologiaan liittyviä ekosysteemitasoisia tutkimushankkeita.

5.2. Metsäpaloihin liittyvä paloekologinen tutkimus

Varsinaista metsäpaloihin liittyvää paloekologista tutkimusta Metsäntutkimuslaitoksella tehdään vähän. Usein palon jälkeinen tutkimuskin tehdään palaneissa talousmetsissä.

Luonnontilaisten metsien kehitys- hankkeessa (*Antti Isomäki, 1995-1999*) perustetaan pysyvää näytealaverkkoa eri sukkessiovaiheen luonnontilaisiin metsiin. Näytealat pyritään perustamaan viljavuudeltaan, vesitaloudeltaan ja ilmastoltaan erilaisille kasvupaikoille. Luonnonmetsäkohteet edustavat osin metsäpalon jälkeisiä eri-ikäisiä sukkessiovaiheita. Hankkeessa selvitetään toistaiseksi vain puustorakennetta ja uudistumista.

Metsäpalon jälkeistä makrosieni- ja kasvisuknessiota, lahottajasieniyhteisöjen (“hiilisienet”) ja mykorritsasienten yhteisörakennetta, sekä itiöemien määrää ja satoa tutkitaan palointensiteetiltään erilaisilla metsikkökuvioilla Kitsin metsäpaloalueella Lieksassa hankkeessa *Metsien rakenteen ja käsittelyn vaikutukset monimuotoisuuteen* (Erkki Annila, osahanke: *Makrosienten monimuotoisuus talousmetsissä ja metsäekosysteemin muutoksen ilmentäjänä, Kauko Salo, 1995-1999*).

Metsäpalojen simulointikokeet (pystypuuston poltto) kuuluvat osin varsinaiseen paloekologiseen tutkimukseen ja osin kulotustutkimukseen. Pohjoisboreaalisen metsäekosysteemin metsäpalon jälkeistä sukkessiota ja monimuotoisuuden kehitystä tutkitaan Kolarissa projektissa *“Paloekologian ja metsäpalojen tutkimus Pohjois-Suomessa“* (*Tapani Tasanen*). Puustotietojen lisäksi seurataan lahopuun määrää ja puuston terveydentilaa sekä aluskasvillisuuden kehitystä. Niinikään seurataan hyönteisfaunan kehitystä ja metsäpalon metsämaahan aiheuttamia muutoksia. Myös sienilajiston seuranta on suunnitteilla.

5.3. Kulotustutkimus

Tulen käyttö metsänuudistamisessa eli kulotuksessa yleistyi viime vuosisadan loppupuolelta lähtien. Kulotuksen käyttö oli runsainta 1950- ja 1960 -luvulla, jolloin vuotuiset pinta-alat olivat suurimmillaan yli 30 000 ha. Kulotusta käytettiin mm. paksusammalkuusikoiden uudistamisessa (Sirén 1955). Tällä hetkellä kulotetaan vuosittain vähän yli 1000 ha ja kulotusalojen

kokonaispinta-ala on murto-osa metsämaan pinta-alasta (Metsätilastollinen...1997). Aivan viime vuosina kulotuksen käyttö on lievästi lisääntynyt.

Suurin osa Metsäntutkimuslaitoksella tehtävästä paloekologisesta tutkimuksesta tehdään erilaisilla kulotuskokeilla, sillä yleensä tutkimukseen liittyy metsänhoidollisia tavoitteita.

5.3.1. Maaperätutkimus

Maantutkimuksen hankkeissa (*Kangasmaiden viljavuus ja sen hoito, E. Mälkönen, 1997-2001*) on vuosina 1976-1994 perustettu kulotus-muokkauskoesarja, johon kuuluu 11 laaja-alaista kenttäkoetta eri puolilla maata. Näillä kokeilla selvitetään kulotuksessa palaneen orgaanisen aineen määrää, palon vaikutusta maan happamuuteen, palossa vapautuneita ravinnemääriä, ravinteiden huuhtoutumista ja istutustaimikon ja sen ravinnetilan kehittymistä (Levula 1988, Mälkönen & Levula 1996, Mälkönen ym. 1998).

Kulotuksen vaikutusta maamikrobeihin tutkitaan hankkeessa *Tuhkan ja sen raskasmetallien ympäristövaikutukset (Hannu Fritze, 1995-1999)*. Tutkimuksen tavoitteena on selvittää miten kulotuksen eri mekanismit vaikuttavat maamikrobeihin. Tutkimus keskittyy tällä hetkellä selvittämään maan orgaanisessa aineessa tapahtuvien muutosten vaikutusta mikrobien ravinnonsaantiin (Fritze ym. 1998, Fritze ym. 1993, Fritze ym. 1994, Bååth ym. 1995, Pietikäinen & Fritze 1995a, Pietikäinen & Fritze 1995b). Tutkimusongelmia ovat mm.

- maan lämpötilan muutoksen vaikutukset mikrobilajistoon,
- hakkuutähteiden palamisessa muodostuvan tuhkan, pH:n ja ravinnepitoisuuksien muutosten vaikutukset mikrobilajistoon,
- kulotukseen yhdistyvän avohakkuun vaikutus mikrobilajistoon,
- epätäydellisen palamisen kautta syntyvien vaikeasti hajoavassa muodossa olevien hiiliyhdisteiden, myrkyllisten yhdisteiden ym. vaikutus mikrobilajistoon,
- kulotuksessa syntyvän hiilikerroksen mikrobilajisto.

5.3.2. Puuston uudistuminen

Maantutkimuksen hankkeissa (Kangasmaiden viljavuus ja sen hoito, E. Mälkönen, 1997-2001) tutkitaan istutustaimikon kehittymistä em. kenttäkokeilla.

Lisäksi hankkeessa *Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa* (Juha Siitonen, 1995-1999), *Ilkka Vanha-Majamaa* selvitetään kulotuksen vaikutusta taimettumiseen ja taimikon alkukehitykseen (Vanha-Majamaa ym. 1996). Tutkimusongelmia ovat mm.

1. Erot taimettumisessa pystymetsän kulotuksen ja metsänhoidollisen kulotuksen jälkeen
2. Maanmuokkauksen vaikutus taimettumiseen kulotetulla ja kulottamattomalla avohakkuualalla
3. Ympäristöolojen, kilpailutekijöiden, aluskasvillisuuden ym. vaikutus taimettumiseen

Sienilajistotutkimuksen tavoitteena on selvittää sienilajisto ja siinä esiintyvät erot eri metsänkäsittelymenetelmien (avohakkuu, avohakkuu + kulotus, pystyynpoltettu metsä) jälkeen. Lisäksi selvitetään mm. mykorrhizalajiston palautumista ja toipumista suhteessa taimettumiseen (Vanha-Majamaa 1998).

Tulen käyttöä metsänuudistamisessa tutkitaan myös hankkeessa *Metsänuudistamisen ekologisiin prosesseihin perustuvat mallit uudistamistavan valintaperusteina* (Sauli Valkonen, 1995-2000).

5.3.3. Aluskasvillisuuden sukkessio

Kulotuksen jälkeinen aluskasvillisuuden sukkessio ei täysin vastaa metsäpalon jälkeistä kasvillisuuden sukkessiota, sillä puusto yleensä poistetaan ennen kulotusta. Tämä vaikuttaa mm. palon intensiteettiin. Kulotukseen perustuva tutkimus kuitenkin mahdollistaa paloa edeltävän kasvillisuuden kuvauksen, joka metsäpalotutkimuksista yleensä puuttuu. Aluskasvillisuuden sukkessiota tutkitaan mm. osahankkeessa "*Metsäpalon ja kulotuksen vaikutus taimettumiseen, sienilajistoon ja aluskasvillisuuden sukkessioon*". Tavoitteena on mm. selvittää aluskasvillisuuden sukkessiota pystyynpoltetun metsän, kulotetun avohakkuun ja avohakkuun jälkeen. Aluskasvillisuustutkimukseen liittyy myös ns. lajibiologisia tutkimuksia ja

siemenpankkitutkimuksia (Vanha-Majamaa 1998). Tutkimusongelmia ovat mm.

- 1) Sukkession ja sukkessionopeuden vaihtelu.
- 2) Yksittäisten lajien levittäytyminen paloalueelle ja tilan merkitys eri lajeille.
- 3) Kasvillisuussukkession erot puustoisella ja avohakatulla alueella.
- 4) Maanmuokkauksen vaikutus aluskasvillisuuden kehitykseen kulotetulla ja kulottamattomalla *avohakkuualalla*.
- 5) Puulajin vaikutus aluskasvillisuuden kehitykseen (myöhempi sukkessio).

5.4. Kaskeaminen

Kaskialueiden pinta-aloista ei ole tarkkoja tilastotietoja olemassa. On arvioitu että 30-vuotiseen kaskeamiskiertoon vuoden 1870 tienoilla tarvittiin 15 % kasvullisesta metsämaasta. Kaskeaminen on ollut myös tärkeimpiä metsäpalojen syttymissyitä (Heikinheimo 1915).

Kaskikulttuurin ylläpitämiseksi pieniä alueita on kaskettu Kolin kansallispuistossa. Toistaiseksi on tehty huhta- ja lehtikaskia perinnemaiseman ja perinnebiotooppien säilyttämiseksi ja ennallistamiseksi. Kaskeamista jatketaan vuosittain. Kaskeamiseen on liitetty myös tutkimusta tavoitteena selvittää kasvillisuuden sukkessiota, luontaista uudistumista ja sienilajisukkessiota kasketuilla biotoopeilla.

6. Metsänraajatutkimus

6.1. Käsitteistä

Metsänraja ympäristöineen on luonteeltaan *ekotoni*. Tällä käsitteellä tarkoitetaan vaihtumisvyöhykettä kahden ekosysteemin välillä. Ekotonille on tyypillistä, että sen lajisto on runsaampi ja biologinen monimuotoisuus laajempi kuin kummassakaan sen välityksellä toisiinsa rajautuvassa ekosysteemissä. Metsänraajatutkimuksessa on mielenkiinnon kohteena tällainen sulkeutuneiden metsien ja puuttoman tundran tai tunturipaljakan välinen alue. Metsänrajan läheiset metsät, erityisesti suojametsävyöhyke, kuuluvat niinkään tutkimuskohteisiin.

Käsitteet *metsänraja* ja *puuraja* ovat Suomessa yleisessä käytössä. Ne ovat jossakin määrin harhaanjohtavia, koska niistä saa sen kuvan, että olisi kyse viivamaisesta rajasta. Vuoristojen *alpiininen* metsänraja onkin usein hyvin jyrkkä, käsittäen samalla myös puurajan. *Arktinen* l. *boreaalinen* metsänraja on yleensä vaikeammin paikallistettavissa, muutos sulkeutuneesta metsästä aukeaksi tapahtuu leveydeltään vaihtelevan *vaihettumisvyöhykkeen* kautta. Venäjällä sekä joissakin pohjoisamerikkalaisissa tutkimusyhteisöissä käytetään käsitettä *metsätundra* (lesotundra, forest tundra) kuvaamaan tätä boreaalisen havumetsävyöhykkeen (taigan) ja tundran välistä aluetta. Meille tämä käsite ei oikein sovi mm. siksi, että Suomessa ei ole varsinaista ikiroudassa olevaa tundraa, eikä vaihettumisvyöhyke metsän ja puuttomien alueiden välillä ole yhtä laaja kuin Venäjällä, Kanadassa ja Alaskassa. Suomessa on melko vähän puuttomia alueita; ne sijaitsevat tuntureilla ja tunturiylängöillä yli 500 m:n korkeudessa, missä tunturikoivu ei enää kasva. Lapin metsänrajat ja puurajat ovat luonteeltaan sekä arktisia että alpiinisia, toisin sanoen niiden sijaintiin vaikuttavat sekä maaston korkeusasemaan että pohjoisuuteen liittyvät tekijät.

6.2. Mihin metsänrajatutkimusta tarvitaan?

Metsänrajat muodostavat yhden herkimmistä indikaattoreista maapallon lämpötilan kohoamiselle ja muille kasvihuoneilmioon liittyville muutoksille. Kasvukauden keskilämpötilan ennustetaan kohoavan lähivuosikymmeninä 3 – 4 °C:llä. Tämä merkitsisi havupuiden siemenvuosien tihentymistä ja metsänrajojen etenemistä pohjoista kohti sekä ylös tunturien rinteitä. Metsänrajaekotoneista on mahdollista mitata monenlaista tietoa ilmaston muutosten nopeuden ja luonteen selvittämiseksi. Tutkimustietoa tarvitaan jatkossa myös ilmaston muutosten vaikutuksiin varautumiseksi.

Metsänraja-alueiden herkkä luonto vaurioituu helposti erilaisista ihmisen toimenpiteistä. Suomen Lapin sekä naapurimaiden metsänraja-alueilla on useita kilpailevia maankäyttömuotoja, joiden suunnittelua ja ohjausta varten tarvitaan vankka ekologinen tietopohja. Tutkimustietoa kysytään mm. matkailun, metsätalouden, poronhoidon ja luontaiselinkeinojen yhteensovittamiseen. Suojametsävyöhykkeen ja muiden metsänrajan läheisten metsien hoitaminen ja näillä alueilla harjoitettava puunkorjuu nojaavat niinkään tutkimukseen. Metsänrajaekotoneja koskevaa tietoa tarvitaan myös luonnonsuojelua koskevaa suunnittelua ja päätöksentekoa varten. Viime vuosina arktisten alueiden luonnon ja luonnonvarojen kestävyttä on ryhdytty turvaamaan laajojen

kansainvälisten ohjelmien avulla, jotka tarvitsevat tuekseen tuoretta tutkimustietoa. Niiden kautta metsänraja-alueiden tutkimus on saamassa huomattavaa painoarvoa aikaisempaan verrattuna.

Metsänraja-alueella puut kasvavat esiintymisalueensa äärirajalla. Täällä niistä on mitattavissa sellaisia ominaisuuksia ja piirteitä, jotka eivät tule muualla paremmissa kasvuolosuhteissa esiin. Metsänrajaekotoni tarjoaa monipuolisen ympäristön mm. metsäpuiden fysiologian ja genetiikan sekä monimuotoisuuden tutkimukselle.

Metsäntutkimuslaitos ja Metsähallitus ovat tehneet tämän vuosisadan alkupuolelta lähtien runsaasti metsittämiskokeita metsänrajan läheisissä metsissä ja myös metsänrajan pohjoispuolella. 1980-luvulta lähtien on kokeiltu myös vieraita, lähinnä Pohjois-Amerikasta ja Siperiasta tuotuja puulajeja. Näiden pysyvien kokeiden seuraaminen on perusteltua, koska maapallolla on runsaasti puuttomia alueita joiden metsittämiseen kaivataan sekä tietotaitoa että sopivia alkuperiä (esim. Islanti, Färsaaret, kehitysmaiden vuoristoalueet).

6.3. Metsänrajatutkimus Metlassa

Metsänrajatutkimus on keskitetty hankkeelle *Metsänraja-alueiden ekologia ja käyttö (Tapani Tasanen, 1999-2003)*. Hankkeen tavoitteena on

- tuottaa ekologista perustietoa metsänrajaekotonista ja metsänrajan läheisistä metsistä
- tuottaa tietoa ja toimintavaihtoehtoja metsänraja-alueiden ja metsänrajan läheisten metsien hoitoon ja käytön suunnitteluun

Hanke koostuu kolmesta osahankkeesta:

1. Metsänrajaekotonin perustutkimus
2. Metsänrajametsien uudistuminen, kasvu ja puulajidynamiikka
3. Metsänraja-alueiden käyttö ja suojele

Osahankkeiden tavoitteet ja sisältö sekä Metlan kanssa tutkimusta tekevät yhteistyötahot esitellään seuraavassa (ks. myös liitteenä oleva kaavio):

6.3.1. Metsänrajaekotonin perustutkimus

Metsänrajojen sijainti ja muutokset sekä näihin vaikuttavat tekijät

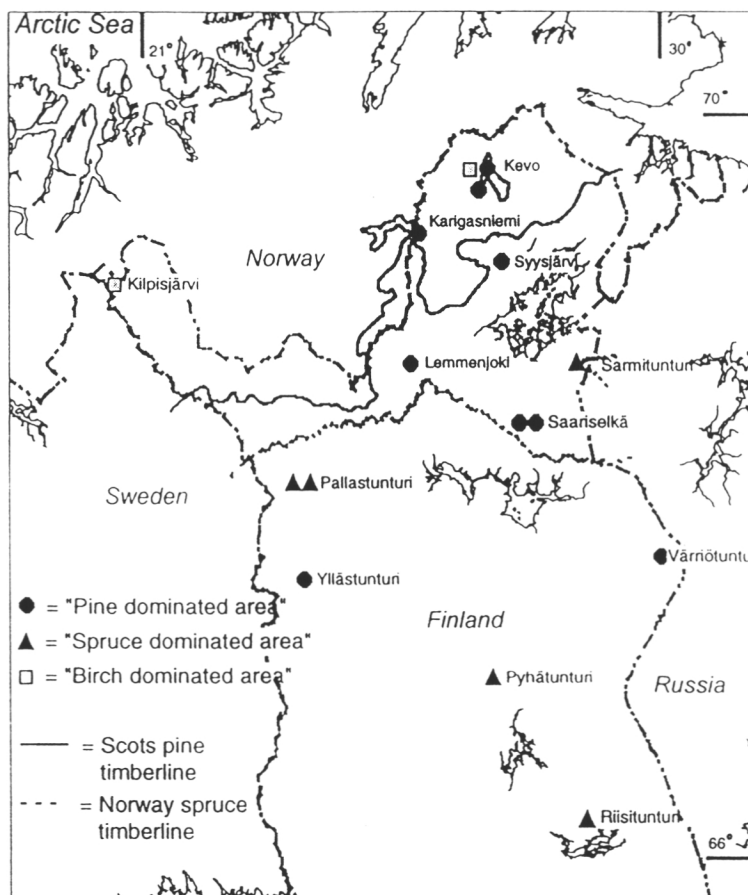
Yhteistyössä Metsähallituksen kanssa tehdään *metsän- ja puurajojen kartoitusta Ylä-Lapin alueella*. Havupuiden metsänrajat sekä tunturikoivuvuodet määritetään Metsähallituksen ilmakuvaineistojen ja kuviotietojen pohjalta. Männyn puurajan maastokartoitus GPS-laitteilla on Kolarin tutkimusaseman vastuulla. Metsähallituksen Ylä-Lapin luonnonhoitoalue on saanut äskettäin valmiiksi kuvioittaisen luontokartoituksen ja tekee sen pohjalta aiemman metsätalousuunnitelman korvaavaa luonnonvarasuunnitelmaa. Suunnittelun yhteydessä kertyy mittava paikkatietoaineisto, joka on metsänrajatutkimuksen käytettävissä. Aineisto sisältää kuviotasolle yltävää paikkatietoa puustosta, pintakasvillisuudesta ja maaperästä. Luontokartoituksen aineistosta on tekeillä myös kaupalliseen jakeluun tuleva kirja “Pohjois-Lapin luonto, Biotooppiatlas”, jonka tuottamiseen hanke osallistuu. Kartoituksen tuloksia tullaan esittämään myös hankkeen tutkimusjulkaisuissa.

Varsinaisen tykkyalueen pohjoispuolella *alpiininen metsänraja* määräytyy oletettavasti kasvukauden lämpöolojen mukaan. Tarkemmat mittaukset vallitsevista oloista kuitenkin puuttuvat. Oletus perustuu lämpösummamallien perusteella laskettuihin arvoihin. Pienilmasto-olot vaihtelevat rinteiden suunnan ja muiden topografisten tekijöiden mukaan, minkä vuoksi todellinen lämpösumma voi poiketa selvästi laskennallisesta arvosta. Ilmastotekijöiden ohella kasvupaikan laatu, kuten maaperätekijät, aiheuttavat vaihtelua alpiinisen metsänrajan sijaintiin. Näiden vaikutusten tarkempaa erittelyä ei ole kuitenkaan toistaiseksi tehty.

Pallas-Ounastunturin alueella on laadittu paikkatietojärjestelmään sidottu *kasvillisuuskarttoitus*, josta ilmenee myös metsänrajan sijainti (Seppänen ja Norokorpi 1998). Kasvillisuuskarttoituksen tueksi tehdään tarkentavia mittauksia maastossa etenkin lämpösummakertymän selvittämiseksi. Apuna käytetään Ilmatieteen laitoksen vakioitoimisilla säähavaintoasemilla tuottamaa dataa Pallas-Ounastuntureilla ja lähialueella. Pallas-Ounastunturin kansallispuiston eteläosissa myös tykkytuhoilla on vaikutusta kuusen alpiinisen metsänrajan sijaintiin. Tykyn merkitystä sekä liittymistä ilmastotekijöihin ja niiden mahdollisiin muutoksiin selvitetään Sammaltunturissa käyttäen hyväksi

Oulun yliopistossa kehitettyä tykkymittaria ja samalta alueelta kertyvää säähavaintoaineistoa. Laadittavaa tykyntymämallia on mahdollista hyödyntää erilaisissa ilmastonmuutosmalleissa.

Metsänrajojen ja puurajojen muutosta seurataan pysyvien koealojen (kuva 1), inventointien ja ilmakuva-aineistojen avulla.



Kuva 1. Metsänrajan siirtymistutkimuksen pysyvät koealat.

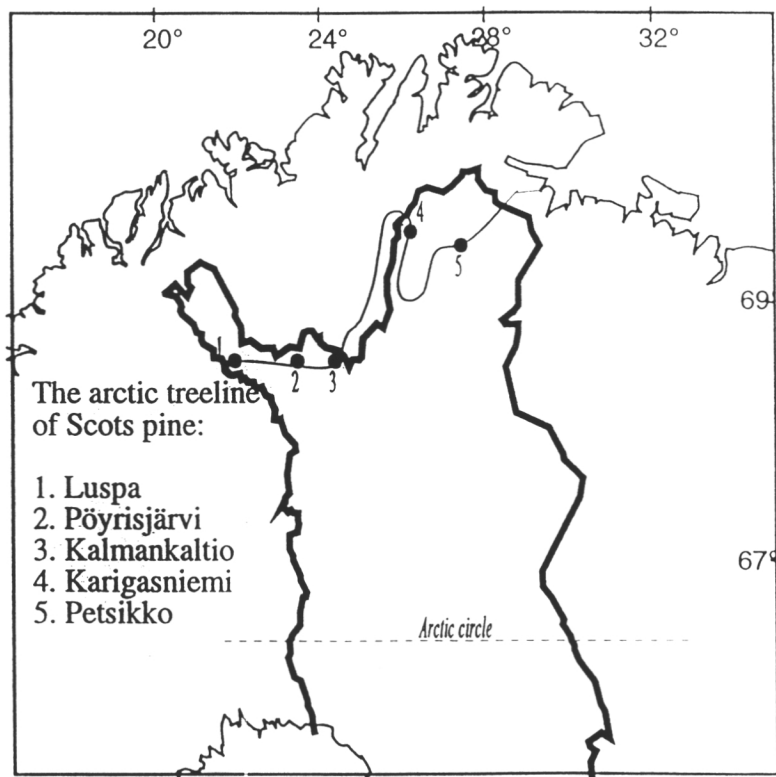
Metsänrajan siirtymistutkimuksen pysyvät koealat perustettiin 12 paikkakunnalle vuosina 1983 – 84. Ne mitattiin uudelleen vuosina 1994 – 95. Kolmas mittaus ajoittuu vuoteen 2003. Tutkimuksen päätavoitteena on seurata eri puulajien muodostamien metsän- ja puurajojen mahdollista siirtymistä sekä puuston uudistumisessa ja kasvussa tapahtuvia muutoksia. Myös puissa esiintyviä tuhoja sekä kasvipeitteen kehitystä seurataan näillä koealoilla. Tutkimuksessa

ovat mukana Kolarin ja Rovaniemen tutkimusasemat sekä Helsingin, Oulun ja Turun yliopistojen pohjoiset asemat.

Pysyvien koealojen ohella myös aiemmin mainitut Metsähallituksen ilmakehä-aineistot ja luontokartoituksen tuottama paikkatieto ovat hyvänä pohjana metsänrajojen tulevaa seuranta varten. Kerättyä tietoa päivitetään jatkossa sekä Metlan että Metsähallituksen toimesta.

Metsänrajojen ja puurajojen muutoksiin vaikuttavia ekologisia tekijöitä selvitetään:

- männyn pohjoiselle puurajalle vuosina 1997 – 98 asennettujen sääasemien avulla,
- Pallastunturilla sijaitsevien Ilmatieteen laitoksen ja Metlan mittausasemien tuottamaa
- mittaustietoa hyväksikäyttäen,
- maaperän kosteusmittausten avulla.



Kuva 2. Sääasemat männyn pohjoisella puurajalla.

Sääasemat mittaavat ilman ja maan lämpötilaa, tuulen suuntaa ja voimakkuutta, sademäärää, ilman kosteutta ja auringon säteilyä. Niiden lisäksi männyn metsän- ja puurajoilla on useissa kohteissa erillisiä mittaustietoa tallentavia lämpö- ja ilmankosteusmittareita. Pallastunturin suuremmilta mittausasemilta saadaan huomattavasti monipuolisempaa tietoa mm. ilman kaasukoostumuksesta. Puurajan sääasemien yhteyteen on perustettu ryväskoealoja, joiden säde on 2 km. Niiltä mitataan puu- ja taimitunnuksia sekä kerätään kasvupaikkatietoja. Sääasematiedoista ja koealoilta saatavista vastemuuttujista rakennetaan malleja ekologisten tekijöiden vaikutuksesta metsänrajojen ja puurajojen kehitykseen. Malleja voidaan hyödyntää ilmaston muutoksen vaikutuksia selvittävässä tutkimuksessa sekä metsänrajametsien uudistumista, kasvua, metsänhoitoa ja suojametsäalueen ym. metsänrajan läheisten metsien käsittelyä koskevassa tutkimuksessa.

Maaperän kosteutta ja sen vaikutusta metsänrajaan selvittävässä osatutkimuksessa tehdään yhteistyötä GTK:n Pohjois-Suomen aluetoimiston kanssa. Sää- ja ilmastotietojen keruuseen liittyvää yhteistyötä tehdään Ilmatieteen laitoksen lisäksi Oulun yliopiston maantieteen laitoksen tutkijoiden kanssa.

Monimuotoisuus

Metsänrajametsien biodiversiteettitutkimuksia tehdään Metlan ja Arktisen Keskuksen yhteistyönä. Tutkimuksissa selvitetään erilaisten metsänkäsittelymenetelmien vaikutuksia kovakuoriaislajiston monimuotoisuuteen Inarin ja Enontekiön Lapissa. Lisäksi kerätään aineistoa, josta selvitetään metsänkäsittelyn vaikutuksia kääpäälajistoon Pallaksella ja Inarissa. Uutena selvityksenä on tarkoitus aloittaa tutkimus eri puulajien lahoamisnopeudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä luonnonolosuhteissa metsänrajaa lähellä olevissa metsissä.

Sekä valtion että yksityisten metsissä on ryhdytty viime vuosina tekemään *alue-ekologista suunnittelua*, jonka tärkeimpänä tavoitteena on monimuotoisuuden säilyttäminen. Siihen liittyvät erityisesti avainbiotooppien ja ekologisten käytävien rajaaminen pois hakkuiden ja muiden muun metsänkäsittelyn piiristä sekä lahopuun ym. jättöpuiden jättäminen pystyyn hakkuissa. Näillä toimenpiteillä ei ole toistaiseksi kotimaisiin ja Suomen alueella tehtyihin tutkimuksiin nojaavaa teoreettista perustaa. Tämän puutteen korjaamiseksi metsänrajan läheisten metsien osalta aloitetaan hankkeessa alue-ekologisen suunnittelun ekologisia perusteita selvittävä tutkimus. Se

tuottaa perustietoa jäljempänä esiteltävälle metsänhoidon tutkimukselle, joka tuottaa käytännön sovelluksia ja ohjeita metsänrajametsien hoitoa varten. Tärkeimmät tutkimusaiheet ovat:

- alue-ekologisen suunnittelun perusteet eli tietotaustan luominen avainbiotooppien ja ekologisten käytävien rajaukseen,
- tutkimustiedon tuottaminen perustaksi toimenpiteille, joilla ylläpidetään monimuotoisuutta (esim. lahoppuun määrä, uudistusalojen jättöpuut).

6.3.2 Metsänrajametsien uudistuminen, kasvu ja puulajidynamiikka

Luontainen uudistuminen

Metsänrajametsissä havupuiden uudistumisen kannalta olennaisin tekijä on *siemenen tuleentuminen ja riittävä kehitys taimettumisen onnistumiseksi*. Tunturikoivikot puolestaan uudistuvat lähinnä vegetatiivisesti. Hyviä havupuiden siemenvuosia on tähän saakka ollut keskimäärin kolme vuosisadassa. Ilmaston lämpenemisen odotetaan nostavan niiden esiintymistiheyttä tuntuvasti. Uudistumista ja sen ekologisia taustatekijöitä selvitetään inventointien sekä maasto- ja laboratorioskokeiden avulla. Mänty on vanhastaan ollut eniten tutkijoita kiinnostava puulaji. Hankkeen käytössä on useita pitkäaikaisia männyn luontaisen uudistumisen ja myös metsänviljelyn (kylvön) onnistumista seuraavia kokeita Inarissa ja Utsjoella (perustajina mm. prof. *Gustaf Sirén* ja Metsähallitus). Näitä kokeita seurataan edelleen. Joensuun yliopiston kanssa on äskettäin aloitettu kasvatuskaappikokeet, joissa selvitetään lämpötilan ja muiden ilmastotekijöiden vaikutusta havupuiden siemenen kehitykseen. Siementutkimukseen kuuluvat myös röntgen- ja itävyysanalyysit.

Pallas-Ounastunturin kansallispuiston luoteisosaan ja puistoon rajautuvaan Enontekiön yhteismetsään perustettiin vuonna 1996 kokeet, joilla selvitetään kuusen luontaista uudistumista kuusen pohjoisella metsänrajalla uudistushakkuun jälkeen. Vertailukokeita perustettiin uudistusalojen läheisiin luonnonmetsiin.

Päätavoitteena mainituissa kokeissa on laatia männyn ja kuusen luontaisen uudistumisen edellytyksiä kuvaavat mallit. Niiden laatimisessa tarvitaan myös runsaasti ilmasto- ja maaperätekiä koskevaa tietoa, jota edellä kohdassa 1 esitelty metsänrajan ekologisia taustatekiä selvittävä tutkimus tuottaa. Myös tunturikoivun uudistumisprosessia koskeva tutkimus suunnitellaan ja mahdollisesti aloitetaan lähivuosina.

Puulajikokeet

Metlalla, yliopistoilla ja Metsähallituksella on metsänraja-alueilla useita vanhoja kotimaisten ja ulkomaisten puulajien *viljelykokeita sekä provenienssikokeita*, joita seurataan alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti.

Metsänrajametsien kasvu

Metsänrajametsien kasvua on tutkittu varsin vähän esim. metsien uudistamiseen verrattuna. Tietoa tarvitaan mm. metsänrajan läheisten metsien käsittelyohjeiden laatimista varten sekä ilmaston muutoksen vaikutusten seuraamiseen ja ennustamiseen.

Dendrokronologinen tutkimus (vuosilustoanalyysit) ovat tuottaneet viime vuosina uutta tai syventävää tietoa erityisesti Lapin metsänrajametsien kasvusta ja kehityksestä. Uusien kasvututkimusmenetelmien kehittäminen ja käyttöönotto ovat mahdollistaneet eri pituisiin aikaperspektiiveihin perustuvan tutkimusotteen. Se merkitsee käynnissä olevalle metsänrajatutkimushankkeelle mahdollisuutta mm. vuodentarkkoihin ajoituksiin ja kasvumittauksiin 7600 vuoden aikajaksolla Rovaniemen tutkimusaseman dendrokronologian laboratoriossa. Tämä mahdollistaa edelleen mm. eri ajankohtien väliset kasvuanalyysit ja niistä tehtävät päätelmät mm. ilmastonmuutokseen liittyvissä kysymyksenasetteluissa.

Jatkossa kasvua on syytä mitata myös pysyviltä koealoilta kasvupantojen avulla, jotta kasvukauden aikaisista vaihteluista sekä kasvun alkamis- ja loppumisajankohdista saadaan mahdollisimman tarkat tiedot. Samoilta koealoilta mitataan vuotuinen pituuskasvu. Näiden kasvumittausten sekä edellä mainittujen sääasemien tuottaman ym. ekologisen mittaustiedon avulla pystytään laatimaan metsänrajan läheisille metsille ja puurajan puille kasvun voimakkuutta, ajoittumista ja vaihtelua selittäviä malleja. Näitä voidaan hyödyntää mm. ilmaston muutosten vaikutuksia selvittävässä

tutkimuksessa sekä laadittaessa suojametsäalueen ja muiden metsänrajan läheisten metsien käsittelyohjeita.

Metsätuhot

Turun yliopiston Kevon aseman kanssa perustetaan tutkimus, jossa selvitetään mahdollisuuksia soveltaa *paikkatietojärjestelmiä bioottisten riskien (tuhohyönteiset ja sienitaudit) arvioimiseen* Pohjois-Suomessa. Tuhoriskien arvioinnissa tarvitaan joko havaintoihin tai mallinnukseen pohjautuvia paikkatietoja tuhoa aiheuttavien organismien kannalta kriittisistä ympäristötekijöistä. Tärkeimpien hyönteistuholaisten (tunturimittari, ruskomäntypistiäinen) kannalta tällainen ympäristötekijä on talven minimilämpötila, jonka mallittamiseen laajemmilla alueilla tarvitaan lisämittauksia; ruskomäntypistiäisen kannalta tärkeä ympäristötekijä on myös maaperän laatu, jonka suhteen käytettävissä olevan tiedon laadulliseen parantamiseen on tarvetta.

Poron, hirven ja muiden nisäkkäiden aiheuttamia taimituhoja ja vaikutusta havupuiden ja koivun uudistumiseen metsänrajametsissä tutkitaan vuonna 1995 perustetuilla aitauskokeilla Laanilan tutkimusalueessa sekä Pallas-Ounastunturin kansallispuiston ja Enontekiön yhteismetsän alueilla. Laanilan kokeet on perustettu yhdessä Turun yliopiston kanssa. Porojen vaikutuksen metsänrajametsien uudistumiseen on havaittu erityisesti suurimpien porotiheyksien alueilla olevan merkittävä. Tarkat, säännöllisiin mittauksiin perustuvat tiedot kuitenkin puuttuvat. Tämän vuoksi on tarkoitus perustaa joidenkin metsänrajan seurantatutkimuksen pysyvien koealojen yhteyteen lisää aitauskokeita vertailualueineen porojen vaikutuksen selvittämiseksi. Nämä kokeet on tarkoitus suunnitella yhteistyössä Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitoksen sekä Metlan porotutkijoiden kanssa.

Nk. *pakkaskuivumista*, joka on mm. Keski-Euroopan ja Pohjois-Amerikan vuoristojen metsänrajoilla yksi vakavimmista abioottisista tuhoista, esiintyy myös Suomessa. Ilmiö näyttää olevan monitahoisempi kuin aikaisempi tutkimus on osoittanut. *Pakkas- ja kuivuuskestävyyden vuodenaikaista vaihtelua metsänrajapuissa lämpö- ja valaistusolosuhteiltaan erilaisilla alueilla* selvitetään ensi vuonna aloitettavassa tutkimuksessa. Kokeet tehdään lähinnä kevättalvella, jolloin kaikki mahdolliset abioottiset stressitekijät vaikuttavat yhtä aikaa. Kokeissa tarkastellaan myös UV-säteilyn ja korkeuserojen vaikutusta pakkaskuivumiseen. Lisäksi selvitetään, miten

kuivumisilmiö vaihtelee metsän eri osissa ja eri tyyppisissä metsänrajametsissä.

Puulajidynamiikka

Metla osallistuu *yhteispohjoismaiseen tunturikoivututkimukseen*, johon liittyy tunturikoivun ekologiaa ja sopeutumista muuttuviin ilmasto-oloihin selvittävä osatutkimus. Suomessa kokeet sijaitsevat Pallastunturilla ja Kilpisjärvellä.

Mäntyä on taloudellisesti arvokkaana puulajina pyritty uudistamaan luontaisesti ja viljelemäänkin levinneisyysalueensa pohjoisrajalla ja jopa sen pohjoispuolella. Näiden kokeilujen sekä laajojen tunturimittarituhojen yhteydessä todettiin, että tunturikoivun taholta tuleva kilpailu on yksi merkittävimmistä männyn pohjoista puurajaa säätelevistä tekijöistä (mm. Sirén 1998). Vaikka mäntymetsien alan lisääminen metsänrajavyöhykkeellä ei kuulukaan tämän päivän puuntuotannollisiin tavoitteisiin, on *männyn ja tunturikoivun kilpailua* syytä tutkia tarkemmin. Tutkimuksessa selvitetään mikroilmaston, maaperän, tuhonaiheuttajien ym. ekologisten tekijöiden vaikutusta männyn ja tunturikoivun menestymiseen (runkolukuun, peittävyYTEEN, elossapysymiseen, kasvuun jne.). Seuranta tapahtuu eri puolille Lappia sijoitetuilla pysyvillä koelaloilla ja männyn pohjoisella puurajalla olevan sääasemaverkon yhteyteen perustetuilla koelaloilla.

6.3.3. Metsänraja-alueiden käyttö ja suojelu

Metsänhoito

Metsänhoidon tulee suojametsäalueella ja yleensä metsänrajan läheisissä metsissä olla pienipiirteistä ja varovaista. Metsähallituksella ja yksityismetsätalouden organisaatioilla on omat käsittelyohjeensa näitä alueita varten, mutta niiden tutkimuksellinen tausta on puutteellinen. Luonnonsuojelun taholta tulevat paineet ovat aiheuttaneet huomattavia muutoksia hakkuisiin ja metsänhoidon menetelmiin, ilman että niiden soveltuvuutta kohteisiinsa olisi tutkittu. Lapin metsissä on siirrytty laajassa mitassa "maisemahakkuisiin", joissa perinteinen kasvatus- ja uudistushakkuiden välinen raja ei ole yhtä selvä kuin aikaisemmin. Alue-ekologinen suunnittelu,

joka on otettu käyttöön Metsähallituksen metsissä, perustuu pitkälti ulkomaisiin tutkimuksiin. Tätä taustaa vasten on tarpeen aloittaa metsänrajan läheisten metsien hoitomenetelmien tutkimus, jossa lähtökohtana on metsätalouden muuttunut toimintaympäristö.

Metsänrajametsien metsänhoidon tutkimukseen sisältyvät seuraavat osa-alueet:

1. metsänuudistaminen
2. metsiköiden kasvatustoimenpiteet
3. maisemahakkuut
4. metsätuhojen torjunta
5. alue-ekologisen tiedon soveltaminen metsänhoitoon

Metsänhoidon tutkimus tässä hankkeessa keskittyy metsänrajan läheisiin metsiin, erityisesti suojametsäalueelle sekä lakialueille. Tutkimus toteutetaan läheisessä yhteistyössä Metsähallituksen ja yksityismetsätalouden organisaatioiden kanssa, jotta tulokset ovat siirrettävissä mahdollisimman tehokkaasti ja nopeasti käytäntöön. Metlalla ja Metsähallituksella on yhteisiä, aiemmin perustettuja uudistamiskokeita, jotka otetaan mukaan tähän tutkimukseen.

Metsänraja-alueiden maankäytön suunnittelu

Metsänraja-alueilla on useita maankäyttömuotoja, jotka osittain myös kilpailevat keskenään (metsätalous, matkailu, poronhoito, keräily, kalastus, metsästys, teiden rakentaminen jne.). Maankäytön suunnitteluun ja päätöksentekoon osallistuu lukuisia organisaatioita ym. tahoja. Hanke pyrkii aktiivisesti tarjoamaan tutkimustietoa suunnittelijoiden ja päätöksentekijöiden käyttöön sekä toimimaan asiantuntijana ongelmatilanteissa.

Luonnonsuojelu metsänrajametsissä

Hankkeen tutkijoilta on pyydetty useita selvityksiä ja kannanottoja erilaisiin kotimaisiin ja yhteispohjoismaisiin julkaisuihin ja raporteihin ympäristöministeriön, Suomen Ympäristökeskuksen ja Lapin ympäristökeskuksen välityksellä. Keväällä 1998 neljä Metlan tutkijaa vastasi Whitehorsessa Kanadassa järjestetyn arktisen alueen kestävästä kehityksestä koskevan

konferenssin yhteydessä pidetyn metsänrajaseminaarin järjestelyistä. Seminaarin julkaisu painetaan joulukuussa 1998.

Arktisten alueiden ympäristön tilaa ja suojelua koskevia ohjelmia ja selvityksiä on tekeillä ja suunnitteilla useita. Hanke tarjoaa jatkossakin niiden käyttöön asiantuntija-apua voimavarojensa puitteissa. Hankkeen tutkijat ovat käytettävissä asiantuntijoina myös paikallisissa metsänrajaekotonin ja metsänrajan läheisten metsien suojelua koskevissa kysymyksissä. Pitempikestoisten ja merkittäviä kustannuksia aiheuttavien tehtävien kohdalla pyritään neuvottelemaan tilaajan kanssa työn toteuttamisesta asiakasrahoitteisina hankkeina (kuten esim. Ylläksen maisemointitutkimus 1994 – 1997).

Arkangelissa toimivan Pohjoisen metsätalouden tutkimuslaitoksen kanssa on suunnitteilla hanke, jossa selvitettäisiin *Arkangelin tasavallan ja Komin alueen metsätundralle sijoitetun suojametsävyöhykkeen etelärajan tarkistamista*. Taigavyöhykkeellä tehtävät kaupalliset hakkuut ovat lähestymässä metsätundra-aluetta. 1950-luvun lopulla rajattu suojametsävyöhyke ei paikallisten tutkijoiden käsityksen mukaan ulotu tarpeeksi kauas etelään. Hankkeen tavoitteena olisi selvittää uudelleen yksityiskohtaisesti ekologiset ja biologiset perusteet, joiden nojalla suojametsävyöhyke tulisi rajata. Hankkeeseen pyritään saamaan yhteispohjoismainen rahoitus.

Kansainvälinen ja kotimainen yhteistyö

Hankkeelle on kertynyt sen ensimmäisten viiden toimintavuoden aikana lukuisia yhteistyökumppaneita muiden Pohjoismaiden, Pohjois-Venäjän, Kanadan, Yhdysvaltojen ja Saksan tutkimusyhteisöistä ja yliopistoista. Yhteisten tutkimusten toteuttaminen ja julkaisujen tuottaminen, seminaarit ja harjoittelijavaihto ovat olleet tärkeimpiä yhteistyön muotoja.

Erityisesti seuraavat seikat luovat mahdollisuuksia metsänrajatutkimuksen kansainvälisten yhteyksien ja yhteistyön kehittämiseen jatkossa:

- arktisten alueiden luonnonvarojen käyttöön, luonnonsuojeluun ja kestävään kehitykseen suunnataan enenevästi voimavaroja sekä EU:n että Pohjois-Amerikan maiden taholta.

- Suomi on vahvasti mukana Barentsin alueen yhteistyössä ja toimii alueen biodiversiteetin suojelua käsittelevän hankkeen johtomaana. Tämä hanke koskee myös pohjoista metsänrajavyöhykettä Venäjän puoleisella Barentsin alueella. Suomi on niinkään mukana Arktisen neuvoston kestävän kehityksen ja ympäristönsuojelun toteutuksessa, jossa se on aktiivisesti nostanut esiin metsänrajametsiä koskevan aiheen.

Myös kotimaisen yhteistyön kehittäminen nähdään tärkeänä. Hanke on jo päättymässä olevan viisivuotiskauden aikana onnistunut muodostamaan ”sateenvarjon” aiemmin erillään toimineiden pienten yksiköiden ja yksittäisten tutkijoiden ylle. Yhteiset rahoitushakemukset, tutkimukset ja julkaisut, tiedotuksen kehittäminen sekä tehokas voimavarojen käytön suunnittelu yhdessä muiden organisaatioiden kanssa ovat tärkeimpiä yhteistyömuotoja.

6.4. Muut metsänrajaa tutkivat Metlan hankkeet

Haihtuvien orgaanisten halogeeniyhdisteiden esiintyminen ja vaikutukset metsäekosysteemissä (Yrjö Norokorpi, 1995 - 1998). Tavoitteet: Hankkeen tavoitteena on selvittää halogenoitujen hiilivetyjen ja niiden reaktiotuotteiden, lähinnä kloorietikkahappojen TCA ja MCA kulkeutumista metsäekosysteemissä ja vaikutuksia puihin. Vaikutuksia mitataan puiden elinvoimaisuustunnuksilla sekä fysiologis-biokemiallisilla analyyseilla: lähinnä PEPC-, ja GST-entsyymi- ja sitruunahappomäärityksillä sekä elektrolyyttivuototestillä. Lisäksi tutkitaan kloorietikkahappojen neulaspitoisuuksien riippuvuutta mikroilmasto-, maaston topografia- ja metsikkötunnuksista. Selvitetään TCA:n kelpoisuutta indikaattoriyhdisteenä. *Osa kokeista on metsänraja-alueella.*

Metsäekosysteemin vaste ympäristötekijöihin (Hannu Raitio, 1995 - JATK). Tavoitteet: Tutkia metsäekosysteemin vastetta ympäristötekijöihin 31 valitussa havaintometsikössä eri puolilla Suomea pitkällä aikavälillä. Kehittää metsien terveydentilan seurantamenetelmiä ja tulosten tulkintaa. *Hankkeella on kaksi havaintometsikköä metsänraja-alueella (Pallasjärvi, Sevettijärvi).*

UV-säteily ja metsänrajan kasvit (Marja-Liisa Sutinen, 1998 - 2000). Tavoitteet: 1) Luontaisen ja kohotetun UV-B-säteilyn (280-320 nm) ekofysiologiset vaikutukset metsänrajan puilla ja varpukasveilla. Miten UV-B-säteily vaikuttaa itämiseen, kasvuun, biomassan allokontiin ja/tai

lehtien/ neulasten mikroskooppiseen rakenteeseen? Onko eri kasvilajien ja alkuperien reagointitavassa eroja? Ovatko nuoret kehitysvaiheet herkempiä kuin aikuiset kasvit?

2) UV-säteilyn sietomekanismit metsänrajan puilla ja varpukasveilla. Minkälaisia UV-B-säteilyä absorboivia yhdisteitä näillä kasvilajeilla on, ja missä solukoissa ja solurakenteissa ne sijaitsevat? Miten em. yhdisteiden määrä ja laatu vaihtelee kasvin eri kehitysvaiheissa (lehtiaihiot talvehtivissa silmuissa - täysikasvuiset lehdet)? Indusoiutuuko UV-B-säteilyä absorboivien yhdisteiden synteesi UV-altistuksessa? Onko kasvien UV-B sietomekanismeissa eroavuuksia kahden, ekologisesti ja erityisesti säteilyolosuhteiltaan erilaisen metsänraja-alueen (Medicine Bow Mountains vs. Pallas-Ounastunturin kansallispuisto) välillä, ja eri kasvilajien välillä ko. alueilla?

3) UV-säteily ja mäntyjen kevättalvinen kellastumisoire. Mikä on UV-säteilyn merkitys männyn neulasten kevättalvisessa kellastumisoireessa? Mikä on vesitaloushäiriöiden osuus ko. kellastumisoireessa? Poikkeako vihreinä säilyneiden mäntyjen UV-B-säteilyn sietomekanismit kellastuneiden mäntyjen *UV-B-sietomekanismeista*? *Hankkeen kokeet sijaitsevat metsänraja-alueella.*

Puiden suvullisen lisääntymisen sopeutuminen ilmaston muutokseen (Veikko Koski, 1998 - 2000).

Tavoitteet: Kukkasilmujen ja siementen alttius talvivaurioille. Sopeutumismekanismien toiminnan ja kukkimisrungsauden vasteet ilmaston muutokseen. Provenienssikokeissa verrataan kutakin alkuperää eri koepaikalla sekä eri alkuperiä keskenään samalla koepaikalla ja tunnusten vastekäyrät ilmastollisiin tekijöihin lasketaan. Suvullisen lisääntymisen onnistumisen todennäköisyyden muuttuminen. Häiriintyykö suvullisten prosessien vuosirytmii helpommin kuin kasvullisten? *Provenienssikokeita on myös metsänraja-alueella.*

Porotalouden ympäristövaikutukset (Timo Helle, 1995 - 1999). Tavoitteet: Hankkeessa tutkitaan intensiivisen poronlaidunnuksen pitkäaikaisvaikutuksia maaperän lämpötiloihin, maaperäeliöstöön sekä puiden kasvuolosuhteisiin. Tutkimus kohdistuu kriittisimpiin laiduntyyppihin, kuiviin mäntykankaisiin ja sub-alpiinisiin tunturikoivikoihin. Tutkimuksessa verrataan myös laidunnusta ja metsäpalon jälkeistä sukkessiota, joka edustaa eri vaiheineen "todellisempaa" luonnontilaa kuin täysin laiduntamaton kliimaks-vaiheen jäkälikkö. Hankkeen tavoitteena on tuottaa sellaista tietoa, jonka avulla porotalouden ympäristövaikutuksia pystytään arvioimaan nykyistä luotettavammin. *Osa kokeista on metsänraja-alueella.*

Valtakunnan metsien inventointi (VMI) (Erkki Tomppo, jatkuva). Valtakunnan metsien inventoinnit tuottavat valtakunnallista, luotettavaa, toistuvaa tietoa metsävaroista, puuston määrästä, kasvusta ja metsien tilasta, maankäyttömuodoista, metsien omistussuhteista ja muista pinta-alajakaumista metsissä tapahtuneista muutoksista sekä metsien monimuotoisuudesta. *VMI kattaa myös metsänrajametsät ja tuottaa käyttökelpoista paikkatietoa metsänraajatutkimukselle.*

Monitavoitteisen metsäsuunnittelun menetelmät, mallit ja tavoitteet (Jyrki Kangas).

Metsäsuunnittelu on keskeinen metsiä koskevan päätöksenteon tukemisen, metsäneuvonnan, metsäpoliittisen ohjauksen ja kansalaisten metsien käytön valintoihin osallistumisen väline. Maa- ja metsätalousministeriön metsäympäristömietinnössä 1995 edellytettiin siirryttävän monitavoitteiseen suunnitteluun kaikkien omistajaryhmien metsissä. Monitavoitteisuutta painottavat myös mm. ympäristöministeriö, yksityismetsätalouden organisaatiot, Metsähallitus ja luonnonsuojelujärjestöt. Menetelmiä osallistavan metsäsuunnittelun tehtäviin sekä metsäsuunnitelmien vertaamiseksi muiden kuin puuntuotannosta välittömästi tai välillisesti saatavien hyötyjen tai metsien käytöstä koituvien ympäristöhaittojen kannalta on ollut riittämättömästi käytettävissä. Monitavoitteisen metsäsuunnittelun menetelmien ja käytäntöjen kehittäminen, testaaminen ja käyttöönotto onkin kiireellinen tehtävä. Tutkimuksen tavoitteena on kehittää menetelmiä ja malleja monitavoitteiseen metsäsuunnitteluun. Tavoite on, että tulokset ovat paitsi teoreettisesti kestäväällä pohjalla myös hyödynnettävissä käytännön metsäsuunnittelun tehtävissä. Tutkimuksen keinoin pyritään tuottamaan menetelmiä, malleja ja tietämystä, joiden avulla voidaan helpottaa monitavoitteisen metsäsuunnittelun pullonkauloja:

- eri mitta-asteikoilla ja -yksiköillä ilmaistavien metsän hyötyjen yhteismitallistaminen suunnittelulaskelmissa,
- osallistava metsäsuunnittelu,
- tavoiteanalyysi, paikkatietoanalyysit metsäsuunnittelussa, erityisesti riistan elinympäristön ja maisema-arvojen mallinnuksessa,
- biodiversiteettitarkastelut metsäsuunnittelussa,
- ympäristövaikutusten arviointi metsäsuunnittelulaskelmissa,
- kestävä kehityksen eri ulottuvuuksien yhteistarkastelu päätöstuessa,

- asiantuntemuksen hyödyntäminen numeerisessa suunnittelussa,
- riskin ja epävarmuuden huomioon ottaminen päätösvaihtoehtojen vertailussa,
- optimointi integroidussa metsäsuunnittelussa.

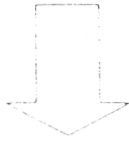
Menetelmien kehittämisen suuntaamiseksi pohditaan metsänhoidon ja metsäsuunnittelun tarpeita nyt ja tulevaisuudessa ja hankitaan perspektiiviä tarpeiden muutoksiin eri aikakausina. Tutkimuksen tuloksia hyödynnetään jo mm. Metsäntutkimuslaitoksen omien metsien suunnittelussa, yksityismetsätaloudessa, Metsähallituksen osallistavassa suunnittelussa sekä muissa tutkimushankkeissa. *Hankkeen suunnittelututkimuksilla on useita yhtymäkohtia metsänraajatutkimukseen, esim. alue-ekologisen suunnittelun tutkimus tuottaa käyttökelpoista tietoa Metsähallituksen Ylä-Lapin suunnitelmaa varten.*

Luonnontilaisten metsien kehitys (Antti Isomäki, 1993 - 1999). Tavoitteet: Hankkeen pitkänajan tavoitteena on: 1. vertailla luonnontilaisten ja talousmetsien ominaisuuksia keskenään, 2. kehittää luonnontilaisuutta kuvaavia käsitteitä ja mittareita, 3. tuottaa perustietoa monimuotoisen metsänhoidon kehittämiseksi sekä 4. lisätä tietoa luonnonmetsien kehitysdynamiikasta. Hanke on suunniteltu toteutettavaksi siten, että sen ensimmäisessä vaiheessa perustetaan riittävän laaja ja edustava pysyvien seurantakoealojen verkko, jonka avulla voidaan tuottaa monipuolista, aikaan ja paikkaan sidottua tietoa luonnontilaisten metsien rakenteesta ja kehityksestä sukcession eri vaiheissa. Perustamisen jälkeen hanke ylläpitää koealaverkkoa ja tarjoaa siihen kuuluvia koemetsiköitä Metlan omille tutkimushankkeille sekä niiden ohella myös yliopistojen ja muiden tutkimusyhteisöjen käyttöön. Tavoitteena on tukea ja tehostaa luonnonmetsiin kohdistuvaa tutkimusta Suomessa ja sen lähialueilla. Pysyvän koealaverkon perustaminen merkitsee pitkällä aikavälillä luonnonmetsiin kohdistuvan tutkimuksen oleellista rationalisointia. Useiden tutkimushankkeiden kohdistaminen samoihin koemetsiköihin vähentää päällekkäistyötä, lisää havaintojen luotettavuutta, parantaa ilmiöiden välisten vuorovaikutusten tutkimusmahdollisuuksia ja tuottaa myös muuta synergiaetua, jota erillisillä, lyhytaikaisilla tutkimuksilla ei voida saavuttaa. Metsänkasvatuksen tutkimussuunnan oma tutkimuksellinen mielenkiinto kohdistuu luonnontilaisten metsien puustoihin, erityisesti luontaiseen uudistumiseen, puulajidynamiikkaan, puiden väliseen kilpailuun ja tilajärjestykseen, puiden elossapysymisen ja luontaisen kuoleamisen sääntöihin sekä puuston ja biomassan tuotosta kuvaaviin tunnuslukuihin. *Hankkeella on koealoja*

METSÄNRAJAEKOTONIN PERUSTUTKIMUS

- Metsänrajojen sijainti ja muutokset
- Muutoksiin vaikuttavat tekijät
- Monimuotoisuus

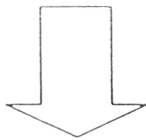
Ekologista perustutkimusta, jolla selvitetään metsänrajaekotonin rakennetta ja dynamiikkaa



METSÄNRAJAMETSIIEN UUDISTUMINEN, KASVU JA PUULAJIDYNAMIIKKA

- Luontainen uudistuminen
- Metsänviljely
- Puiden ja metsiköiden kasvu
- Metsätuhot

Metsänrajan läheisten metsien ja koko metsänrajaekotonin metsiköitä ja puita koskevaa perustutkimusta



METSÄNRAJA-ALUEIDEN KÄYTTÖ JA SUOJELU

- Metsänhoito
- Maankäytön suunnittelu
- Luonnonsuojelu

Soveltavaa tutkimusta, joka tuottaa tietoa metsänraja-alueiden maankäytön ja suojelun suunnittelua ja päätöksentekoa varten

metsänraja-alueella.

7. Yhteenveto

7.1. Kangasmetsien ekosysteemitutkimuksen kehittämistarpeet

Kangasmaiden ekosysteemitutkimuksessa tärkeitä tutkimustarpeita ovat mm. seuraavat:

Maanpäällisen ja maanalaisen biomassadynamiikan yhteydet.

Puuston maanpäällisen ja maanalaisen kasvudynamiikan (kasvun määrä ja ajoittuminen) tutkiminen samoissa metsiköissä antaisi uutta tietoa kasvun ohjautumisesta metsikön tasolla. Esim. eri kasvupaikkoja käsittelevää vertailukelpoista aineistoa puuston biomassan ja biomassatuotoksen jakaumasta maan päällä ja maan alla ei ole käytettävissä. Hienojuuriston biomassaa ja tuotosta ja muita hienojuuriin liittyviä muuttujia (juurten pituus/massayksikkö, mykorritsojen määrä) tulisi määrittää kaikissa niissä tutkimuksissa, joissa tarkastellaan puuston maanpäällistä biomassaa ja tuotosta.

Ravinteiden saatavuuteen liittyvät maaperäprosessit, varsinkin mineralisaatio, rapautuminen ja ravinteiden otto ja niiden kvantitatiivinen määrittäminen, veden ja ravinteiden saatavuuden yhteydet.

Mineraalien rapautuminen ja ravinteiden vapautuminen kuolleesta kasvimateriaalista hajotuksessa (mineralisaatio) tunnetaan ravinteiden saatavuuteen vaikuttavista maaprosesseista heikoimmin. Mineralisaation kvantitatiivinen määrittäminen varsinkin hiilen ja typen suhteen edellyttää eri karikelajien tuotannon ja hajotusnopeuden määrittämistä sekä hiili/typpimallien käyttöä. Suuri syy mineralisaation kvantitatiivisen määrittämisen puutteeseen on se, ettei Metlalla ole ravinnekierron mallitukseen perehtynyttä tutkijaa. Myös rapautuminen on heikosti tunnettu prosessi ja sen kvantitatiivinen määrittäminen on vasta alkuvaiheessa. Metsäpuiden ravinteiden otosta eri olosuhteissa tiedetään varsin vähän. Tärkeitä tutkimustarpeita on ravinteiden ottomäärien kvantitatiivisen määrittämisen ohella (voidaan määrittää täydellisistä ravinnebudjeteista) mm. se, missä määrin kasvit voivat hyödyntää orgaanista typpeä, mikä on mykorritsojen merkitys rapautumisessa ja ravinteiden otossa ja mikä on juuriston lähellä elävän ritsosfäärimikrobiston merkitys ravinteiden mineralisoijana ja toisaalta ravinteista kilpailijana. Ravinteiden ottoon liittyen

tiedämme liian vähän veden saatavuudesta kangasmaillamme (esim. kasvukautisista kuivuusjaksoista), ja voivatko ongelmat veden saatavuudessa aiheuttaa häiriöitä ravinteiden otossa.

Maaperän orgaaninen aine ja sen dynamiikka

tunnetaan myös heikosti, vaikka sen muutokset ovat oleellisia arvioitaessa ilmastonmuutoksen biologisia vaikutuksia. Metlassa ei esim. ole kunnan hiilitasehanketta. Maaperän hiilitase on edelleenkin myös kansainvälisesti eri ekosysteemityyppien hiilitaseista heikoimmin tunnettu.

Metsien rakenteelliset tekijät: puulajit, puulajisuhteet ja niiden ekologinen merkitys esim. metsien sukkessiossa ja maan puuntuotoskyvyn kehittämisessä pitkällä aikavälillä

Puulajin vaikutus maaperään ja aluskasvillisuuteen tunnetaan heikosti. Myöskään aluskasvillisuuden ja maaperän vuorovaikutuksia ei tunneta riittävästi. Toisaalta myös pääpuulajiemme maanpäällinen ja maanalainen kasvudynamiikka eri kasvupaikoilla tunnetaan heikosti, vaikka sillä olisi suuri merkitys esim. puulajivalinnassa ja sekametsiköiden kasvatuksessa. Maan orgaanisen aineen sekä eri puulajien ja sekapuustojen merkitystä tulisi selvittää ekosysteemin toiminnan ja kestävyuden ymmärtämiseksi. Mikäli metsiämme halutaan hoitaa kestävästi, olisi myös metsien hoidon ja käytön toimenpiteiden tutkimukseen (esim. uudistamistapojen vaikutukset uusien metsiköiden koostumukseen ja kehitykseen) saatava ekosysteeminäkökulma toiminnan kestävyuden arvioimiseksi. Tämä edellyttäisi, että tutkittaisiin myös metsien hoidon ja käytön toimenpiteitä ainetaseisiin sekä energia- ja ravinnevirtoihin. Tällaista tutkimusta on hajanaisesti käynnissä edellä kuvatuissa hankkeissa, mutta niiden tuloksellisuuden varmistaminen edellyttää rahoituksen huomattavaa lisäämistä.

7.2. Suomensien ekosysteemitutkimuksen kehittämistarpeet

Suoekosysteemi ja sen toiminnat tutkimuksen työmallina ovat osoittautuneet välttämättömiksi sekä metsätaloudellisessa että ympäristönsuojelullisessa mielessä. Muuttuvien suometsien käsittelyvaihtoehtojen valinnat muuttuvissa taloudellisissa ja ympäristöpoliittisissa olosuhteissa eivät enää voi perustua yksinkertaiseen asetelmaan toimenpide/vaste puuntuotoksessa etenkin puuntuotoksen maksimoinnin mielessä. Kestävän ja kannattavan puuntuotannon ylläpitäminen

vaatii erityisesti turvemaiden kasvun jatkuvuudesta huolehtimista, mikä voi tapahtua vain kasvun resurssien riittävydestä ja uusiutumista huolehtimalla. Monenlaisista luonnontilaisista soista suometsiksi muuttuneet ekosysteemit ovat luonnontalouden kokonaisuudessa uusi ympäristöllinen vaikuttaja, jonka merkitys on tunnettava metsätalouden toimintoja ohjattaessa. Suometsätalouden käytännössä ekosysteemien toimintaan liittyvät kriteerit (suometsien ravinnetalouden kestävyys, merkitys hiilen sidonnassa, kasvihuonekaasujen taseet, vaikutukset vesiekosysteemeihin) tulevat ratkaisemaan jatkotoimenpiteet ja niiden laadun 5-6 milj. ha:n ojitusalueillamme ja metsätalouden ulkopuolelle jätettävän suopinta-alan vaihtoehdot (luontainen soistuminen, ennallistaminen, suojavyöhykesuot).

Tärkeitä tutkimustarpeita ovat mm.seuraavat:

Turpeen ominaisuudet sekä turpeen ojituksen jälkeinen suokasvun ja biologiset prosessit sekä niihin vaikuttavat turpeen fysikokemialliset tekijät ja metsätalouden toimenpiteet. (Tulee osittain esille suo-ohjelmassa): Tutkittava metsätaloudellisesti merkityksellisiä osaprosesseja, kuten mikrobiologisia hajotusprosesseja ja muutoksia turpeen fysikaalisissa ja kemiallisissa ominaisuuksissa ajan suhteen sekä hakkuiden, maankäsittelyn, kunnostusojituksen, lannoituksen ja puulajin vaikutuksia näihin. Tuloksena tiedon kattavuuden lisääntyminen ravinteiden määrästä, riittävydestä ja vapautumisesta kasveille käyttökelpoiseen muotoon kasvupaikan, puulajin, maantieteellisen sijainnin ja ajan (erityisesti vanhat ojitusalueet ja toinen puusukupolvi) suhteen.

Biomassan ja ravinteiden allokointi ja ravinnevirrat suometsissä, erityisesti kuusikoissa ja sekapuustoissa sekä Pohjois-Suomessa myös rämeillä.

Tuloksena mahdollisuus arvioida biomassan korjuun tehokkuuden vaikutuksia kasvupaikan ravinnetasapainoon, ravinnevirtoihin metsikön sisällä, ravinteiden huuhtoutumiseen sekä puuston kestäväseen kehitykseen.

Metsätalouden toimenpiteiden vaikutus metsikön rakenteeseen ja toimintaan (tulee osia suo-ohjelmassa, sisältyy osittain edellisiin): Ojitus, hakkuut, maan käsittely, lannoitus.

Tuloksena mahdollisuus arvioida erilaisten metsätalouden toimenpiteiden vaikutuksia monimuotoisuuteen, puuston kehitykseen, kehityksen jatkuvuuteen ja kehitysennusteisiin sekä

ravinnevirtoihin metsikön sisällä ja sen ulkopuolelle.

Suometsien vesitase

Tuloksena mahdollisuus arvioida yleisten hydrologisten suureiden ja niihin pohjautuvien mallien avulla valumaa ja vesitasetta sekä veden mukana kulkeutuvia ainevirtoja kunnostusojituksen eri vaihtoehtotilanteissa.

7.3. Ekosysteemitason tutkimustarpeet monimuotoisuuden kannalta

Tarkasteltaessa monimuotoisuustutkimuksen merkitystä ekosysteemitutkimuksen kannalta korostuu nimenomaan toiminnalliseen monimuotoisuuteen liittyvä tutkimus. Tällöin oleellista on esim. lajiston merkitys ekosysteemin toiminnalle, sen kestävyys ja palautuvuus erilaisista häiriötilanteista ja niiden jälkeen, lajistollisten erojen toiminnallinen merkitys ekosysteemin tai esim. koko metsikkökierron kannalta. Toiminnalliseen monimuotoisuuteen liittyvää tutkimusta on vaikea nähdä tehtävän irrallaan ekosysteemitutkimuksesta. Kehitettäessä monimuotoisuustutkimusta päättymässä olevan tutkimusohjelman jälkeen tulisi kiinnittää enemmän huomiota toiminnalliseen monimuotoisuuteen liittyvään tutkimukseen. Monimuotoisuuteen liittyvässä ekosysteemitason tutkimuksessa tarkastelujakson pituus tulisi mahdollisuuksien mukaan olla koko metsikkökierron mittainen. Suuri osa päättävän monimuotoisuus -tutkimusohjelman jatkuvista hankkeista olisi mahdollista ja ehkä tarpeenkin jatkossa liittää laajempaan ekosysteemitutkimukseen.

Ekosysteemitason monimuotoisuustutkimukseen liittyviä oleellisimpia lisätutkimustarpeita ovat mm.:

- talous- ja luonnonmetsän rakenteelliset (puusto) ja lajistolliset (koko eliölajisto) erot ja niiden merkitys ekosysteemin toiminnan kannalta,
- miten lajistollisessa monimuotoisuudessa havaitut erot vaikuttavat ekosysteemin toimintaan ja ravinnekiertoihin ym,
- mitkä lajit ja lajiryhmät ovat ekosysteemin toiminnan kannalta erityisen arvokkaita,
- mikä on lajistollinen palautuvuus häiriötilanteiden, kuten erilaisten metsänkäsittelyjen,

metsäpalojen, kulotuksen, hyönteistuhojen ym. jälkeen ja mikä merkitys tällä on ekosysteemin toiminnan kannalta,

- sekametsän merkitys ja puulajin vaikutus lajistolliseen monimuotoisuuteen ja metsäekosysteemin toimintaan,
- säästöpuiden, avainbiotooppien ja lahopuun merkitys ekosysteemin toiminnan kannalta,
- fragmentoitumisen, ekologisten käytävien ym. merkitys ekosysteemin toiminnan kannalta,
- keinollisen ja luontaisen uudistamisen vaikutukset lajistolliseen monimuotoisuuteen ja sen merkitys ekosysteemin toiminnan kannalta.

7.4. Paloekologisen tutkimuksen kehittämistarpeet

Luonnontilaisen metsäekosysteemin toiminnan ja sen palonjälkeisen kehityksen ymmärtämiseksi tarvitaan ekosysteemitasoista paloekologista tutkimusta. Se on tarpeen myös siksi että voidaan arvioida mikä merkitys tulella on borealisessa metsävyöhykkeessä, kuinka paljon ihmistoiminta (metsänkäsittelyt, metsäpalojen torjunta) on pitkällä aikavälillä muuttanut metsäekosysteemin rakennetta ja toimintaa ja mihin palolta suojattujen metsien kehitys johtaa pitkällä aikavälillä.

Metsäpaloihin ja kulotukseen liittyvät paloekologiset tutkimustarpeet tulisi priorisoida, koota Metsäntutkimuslaitoksella tehtävä paloekologinen tutkimus mahdollisuuksien mukaan yhteen, ja kehittää tutkimusta suuntaan, jossa ekosysteemitasoinen paloekologinen tutkimus tulisi mahdolliseksi, (ekosysteemitasoinen paloekologinen tutkimushanke).

Työryhmän kesken todettiin mm. seuraavat tutkimus- ja kehittämistarpeet:

- yhdistää eri hankkeissa tehtävä paloekologinen tutkimus, tavoitteena verrata mm. metsäpalojen merkitystä eri osissa maata, kulotuksen käyttökelpoisuutta metsänuudistamisessa ym. Perustaa tarvittaessa uusia kokeita paloekologisten seurausvaikutusten arvioimiseksi eri metsäkasvillisuusvyöhykkeille ja eri kasvupaikkatyypeille,
- selvittää metsäpalon ja kulotuksen käytön vaikutukset koko ekosysteemin metsikkökierron aikana, ravinnekierto, puustorakenne ym,

- tutkia mahdollisuudet maaperätutkimusten avulla selvittää uusien tutkimuskohteiden palohistoria, ts. onko tutkimusalueen metsä kehittynyt metsäpalon, kulotuksen tai kaskeamisen jälkeen,
- selvittää talousmetsien ja metsäpalon jälkeen syntyneiden metsien rakenteelliset erot ja biotooppivaihtelu, ts. miten metsien käsittely on muuttanut luonnossa esiintyvää biotooppivaihtelua - biotooppikartoituksen avulla tehtävä selvitys. Arvioida metsänkäsitteilyn ja palontorjunnan vaikutuksia mm. metsikkörakenteen ja monimuotoisuuden kannalta,
- jatkaa ja kehittää metsäpaloon ja kulotukseen liittyvää tutkimusta (aluskasvillisuus, biomassatutkimukset, sienilajisto, palohyönteiset, taimettuminen, mikrobien diversiteettitutkimus), ja kerätä tietoa koko metsikkökiertoon liittyvän sukkessiotutkimuksen, kasvillisuuden dynamiikka- ja ravinnekierrotutkimuksen ym. välineeksi,
- kehittää Suomen metsiä varten luokitus metsän syttymisherkkyydestä ja metsäpalon etenemisnopeudesta erilaisissa metsiköissä. Tällaisia luokituksia on käytössä esim. Kanadassa ja USA:ssa. Kyseiset luokittelutunnukset voitaisiin liittää metsätaloussuunnitelmien kuviotietoihin. Tätä työtä varten olisi tarpeen perustaa yhteinen tutkimushanke Metlan sekä palo- ja pelastusorganisaatioiden toimesta. Mahdollisesti myös Helsingin ja Joensuun yliopistot sekä Metsähallitus olisivat kiinnostuneita siihen osallistumisesta. Yhdistämällä Suomessa tehtävä tutkimus Baltian maiden ja Venäjän alueella tehtäviin kokeisiin olisi hankkeella hyvät mahdollisuudet saada rahoitusta EU:lta,
- kehittää esim. yliopistojen kanssa paloekologista yhteistyötä kotimaassa, sekä kansainvälisellä tasolla.

7.5. Metsänraajatutkimuksen kehittämistarpeet

Tutkimusaiheet: Metsänraajatutkimuksen ekosysteemitutkimukseen luettava osa tulee jatkossakin tarkastelemaan metsänrajojen ja puurajojen sijaintiin sekä metsänrajametsien uudistumiseen ja kasvuun vaikuttavia ekologisia tekijöitä. Tutkimuksen edetessä tulee jatkuvasti esiin uusia kysymyksiä ja näkökulmia. Tutkimusmenetelmien ja -tekniikan kehitys mahdollistaa sellaisten

tutkimusongelmien selvittämisen, joihin ei aikaisemmin ole päästy käsiksi. Ilmaston muutos ja tiedon tarve arktisten alueiden kestäväen kehityksen ylläpitämiseksi ovat tärkeimpiä tutkimusta suuntaavia tekijöitä tällä hetkellä.

Voimavarat: Metsänrajatutkimuksen aineiston keruu tapahtuu vaativissa kenttäolosuhteissa. Kyseisillä alueilla on varsin harva tieverkko ja mittalaitteiden kannalta tarpeellista sähkövirtaa on saatavissa harvoissa kohteissa. Arktisissa olosuhteissa luotettavasti toimivat mittalaitteet ovat kalliita. Tämän johdosta aineiston keruu ja mittaukset aiheuttavat huomattavia kustannuksia. Nykyiselle tekniikalle olosuhteet sinänsä eivät ole ylivoimaisia, mutta tarvittava tekniikka on erittäin kallista. Kyseessä on lähinnä rahoitusongelma.

Yhteistyö tutkimusorganisaatioiden kesken: Vuonna 1994 toimintansa aloittanut metsänrajahanke on pyrkinyt kehittämään yhteistyötä erillään toimivien pienten tutkimusyksiköiden ja näissä toimivien tutkijoiden välille. Tämän työn jatkaminen on edelleen tärkeää. Jo pelkästään edellä esiteltyjen Metlan hankkeiden välisen yhteistyön kehittäminen edistää merkittävästi metsänrajatutkimuksen tavoitteita. Kansainvälisen yhteistyön näkymät ovat hyvät ja ne tarjoavat tutkimusalalle kehittymismahdollisuuksia, jotka Metlan kannattaa käyttää hyväkseen.

7.6. Lopuksi

Ekosysteemitutkimus on monitieteistä tutkimusta, joka vaatii monen eri alan asiantuntemusta. Metlan vahvuutena on monipuolinen asiantuntemus, mutta se on usein pirstoutunut yksittäisiin pieniin tutkimushankkeisiin. Eri hankkeissa selvitetään esim. metsänkäsittelytoimenpiteiden vaikutusta metsäekosysteemin eri toimintoihin. Mikäli hankkeet olisi jo suunnitteluvaiheessa voitu yhdistää esim. samaan tutkimusohjelmaan, voitaisiin tutkimus suunnitella alusta alkaen kokonaisvaltaisesti ja esim. hyödyntää samoja koaloja. Tällöin voitaisiin määrittää yksittäisiä parametreja tutkimusten aiheen mukaan riittävässä koealaverkostoissa, mutta samalla tehdä intensiivistä ekosysteemitason tutkimusta muutamilla koaloilla, joilla eri alojen asiantuntijat toimisivat yhdessä. Näillä koaloilla tehtävä tutkimus selvittäisi ekosysteemin vuorovaikutusprosesseja ja syy/seuraussuhteita, kun taas yksittäisten parametrien alueellinen ja ajallinen vaihtelu selvitettäisiin laajemmassa koealaverkostossa.

Sekä kangasmetsien että suometsien ekosysteemitutkimuksessa suurin tiedontarve kohdistuu maaperäprosesseihin ja yleensäkin ravinnekiertotutkimukseen. Näitä kysymyksiä tutkitaan jomonissa uusissa hankkeissa, mutta hankkeiden toimintaa vaikeuttaa Metlan resurssipula. Jatkossa voisi olla tarkoituksenmukaista yhdistää tämän aihepiirin hankkeet muutamaan tutkimusohjelmaan, jossa voitaisiin kokonaisvaltaisemmin tarkastella tutkimusongelmia koko ekosysteemin kannalta. Tärkeintä ekosysteemin vuorovaikutusten tutkimisen kannalta on tutkia nimenomaan maanpäällisen biomassa- ja ravinnedynamiikan yhteyksiä maanalaiseen biomassa- ja ravinnedynamiikkaan.

Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö on hyväksytty tutkimusohjelmaksi, joka aloitetaan v. 1999. Metsänraajatutkimusta on ehdotettu uudeksi hankkeeksi, joka alkaisi v. 1999. Hankkeen laajuuden huomioiden aihekokonaisuus voitaisiin rakentaa myös tutkimusohjelmaksi, jolloin siihen voisi kuulua myös muita aihepiiriin sopivia hankkeita. Metsäntutkimuslaitoksen monimuotoisuustutkimusohjelman tutkimukset liittyvät monella tavoin ekosysteemitutkimukseen. Tutkimusohjelman päättyessä sen edelleen jatkuvia hankkeita ja uutta monimuotoisuuteen liittyvää tutkimusta tulisi kehittää mm. ekosysteemin toimintaan liittyvänä tutkimuskokonaisuutena. Keskeisenä ajatuksena voisi olla mm. talous- ja luonnonmetsien dynamiikan erot ja niiden vaikutus ekosysteemin toimintaan. Paloekologian tutkimus kaipaa tutkimustehtävien jäsentämistä ja koordinoitua. Tästä aihepiiristä pitäisi muodostaa oma hanke.

Kirjallisuus

- Ahti, E. 1977. Runoff from open peatlands as influenced by ditching. Theoretical analysis. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92 (3). 15 s.
- Ahti, E. 1983. Fertilized induced leaching of phosphorus and potassium from peatlands drained for forestry. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 111. 20 s.
- Ahti, E. 1996. The effect of water level regulation on carbon store in a drained Sphagnum peat profile. *Publications of the Academy of Finland* 4/96: 339-344.
- Annala, E. (toim.) 1998. Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman väliraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 705, 335 s.
- Anttonen, S., Wulff, A., Korhonen, M.S., Heller, W., Seidlitz, H.K., Sandermann Jr., H., Sutinen, M.-L. & Kangasjärvi, J. 1998. Effects of UV-radiation on birch (*Betula pendula* Roth) physiology. In: De Kok, L.J. & Stulen, I. *Responses of Plant Metabolism to Air Pollution and Global Change*. Backhuys Publishers, Leiden. 265-268 s.
- Bååth, E., Frostegård, Å., Pennanen, T. & Fritze, H. 1995: Microbial community structure and pH response in relation to soil organic matter quality in wood-ash fertilized, clear-cut or burned coniferous forest soils. *Soil Biology & Biochemistry* 27: 229-240.
- Eurola, S. & Huttunen, A. 1990. Suoekosysteemin toiminnallinen ryhmitys. Summary: The functional grouping of mire ecosystems and their response to drainage. *Suo* 14 (1):15-23.
- Ferm, A. 1990. Coppicing, aboveground woody biomass production and nutritional aspects of birch with specific reference to *Betula pubescens*. Academic dissertation. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 348.
- Finer, L. 1989. Biomass and nutrient cycle in fertilized and unfertilized pine, mixed birch-pine and spruce stand on a drained peatland. *Acta Forestalia Fennica* 63 s.
- Finer, L. 1991 Effect of fertilization on dry mass accumulation and nutrient cycling in Scots pine on an ombrotrophic bog. *Acta Forestalia Fennica* 223. 42 s.
- Finer, L. & Laine, J. 1994. Fine root production and decomposition on drained peatlands. *Publications of the Academy of Finland* 1/94:274-279.
- Finer, L. 1996. Fine root decomposition at drained peatlands. *Publications of the Academy of Finland* 4/96: 359-364.

- Finer, L. 1998. Root dynamics at drained peatland sites of different fertility in southern Finland. *Plant and Soil* 210: 27-36.
- Fritze, H., Pennanen, T. & Kitunen, V. 1998: Characterization of dissolved organic carbon from burned humus and its effects on microbial activity and community structure. *Soil Biology & Biochemistry* 30:687-693.
- Fritze, H., Pennanen, T. & Pietikäinen, J. 1993: Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning. *Canadian Journal of Research* 23: 1286-1290
- Fritze, H., Smolander, A., Levula, T., Kitunen, V. & Mälkönen, E. 1994: Wood-ash fertilization and fire treatments in a Scots pine forest stand. Effects on the organic layer, microbial biomass and microbial activity. *Biology and Fertility of Soils* 17: 57-63, s. 73-106
- Granström, A. 1996. Fire Ecology in Sweden and Future Use of Fire for Maintaining Biodiversity. Teoksessa: Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. (toim.). *Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia*. s. 445-452.
- Haapanen, A. & Siitonen, P. 1978. Kulojen esiintyminen Ulvinsalon luonnonpuistossa. Summary Forest fires in Ulvinsalo strict nature reserve. *Silva Fennica* 12(3): 187-200.
- Hallbäcken, L., Bergholm, J., Braekke, F., Ingerslev, M. & Kukkola, M. 1998. Above ground. In Andrsson, F., Braekke, F. And Hallbäcken, l. (toim.). *Nutrition and growth of Norway spruce forest in a Nordic climatic and deposition gradient*. Tema Nord 1998:566:pp. 51-79. Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- Hartman, M., Karsisto, M. and Kaunisto, S. 1996. Carbon dioxide emissions and nutrition on a drained pine mire - a case study. *Publications of the Academy of Finland* 1/96:89-94.
- Heikinheimo, O. 1915. Kaskiviljelyksen vaikutus Suomen metsiin. Referat: Der Einfluss Der Brandwirtschaft auf die Wälder Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 4. 149 s.
- Helmisaari, H-S. 1995. Nutrient cycling in *Pinus sylvestris* stands in eastern Finland. *Plant and Soil* 168-169:327-336.
- Helmisaari, H-S., Derome, J., Fritze, H., Nieminen, T., Palmgren, K., Salemaa, M. and Vanha Majamaa, I. 1995. Copper in Scots pine forests around a heavy-metal smelter in south-western Finland. *Water, Air and Soil Pollution* 85:1727-1732.
- Helmisaari, H-S., Lehto, T. & Makkonen, K. 1998. Hienoituksen ja maan ominaisuudet. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). *Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti*. *Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691:161-170.
- Helmisaari, H-S. and Hallbäcken, L. 1998. Fine root biomass and biomass production in limed and fertilized Norway spruce (*Picea abies*) stands. *Forest Ecology and Management* (in print).

- Huikari, O. 1959. Metsäojitettujen turvemaiden vesitaloudesta. Referat: über den Wasserhaushalt waldentwässerter Torfböden. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 51(2). 45 p.
- Hyvärinen, A., Jukola-Sulonen, E-L., Mikkilä, H. & Nieminen, T. 1993. Metsäluonto ja ilmansaasteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 446: 1-221.
- Kaila, S. (toim.) 1998. Monimuotoisuus talousmetsän uudistamisessa -hankkeen väliraportit (MONTA-hanke). *Metsätehon raportti* 62, 35 s.
- Karsisto, K. & Ravela, H. 1971. Eri ajankohtina annettujen fosfori- ja kalilannoitteiden huuhtoutumisesta metsäojitusalueilta. Summary: Washing away of phosphorus and potassium from areas drained for forestry and topdressed at different times of the year. *Suo* 22:39-46.
- Karsisto, M. 1979. Maanparannustomenpiteiden vaikutuksista orgaanista ainetta hajottavien mikrobien aktiivisuuteen suometsissä I. Summary: The effect of forest improvement measures on activity of organic matter decomposing micro-organisms in forested peatlands I. *Suo* 30:49-58.
- Karsisto, M. 1996. Decomposition of peat organic matter. *Publications of the Academy of Finland* 4/96: 395-400.
- Kaunisto, S. 1996. Fosforin ja kaliumin poistuma rämeeltä ensiharvennuksessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 607:26-28.
- Kaunisto, S & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 145. 39 s.
- Kellomäki, S. (toim.) 1996. Metsät. Teoksessa: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.). *Ilmastonmuutos ja Suomi* s. 73-106.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.). 1996. *Ilmastonmuutos ja Suomi*. Yliopistopaino.
- Laine, J., Minkkinen, K. and Laiho, R. 1996. Effect of forest drainage on the carbon balance and greenhouse impact of Finnish peatlands. *Publications of the Academy of Finland* 4/96: 401-405.
- Levula, T. 1988. Kulotus ja muokkaus maankunnostusmenetelminä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 300:15-30.
- Lindroos, A-J., Starr, M. & Derome, J. 1998. Mineraalien rapautumisessa vapautuvat ravinnemäärät. s 158, julkaisussa Mälkönen, E. (toim.). *Ympäristönmuutos ja metsien kunto.. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti*. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 691.
- Lindroos, A-J., Paavolainen, L., Smolander, A., Derome, J. & Helmisaari, H-S. 1998. Disturbance of nitrogen cycling in forest soil as a result of sprinkling irrigation. *Environmental Pollution* (in

print).

- Lähde, E. 1966. Tutkimuksia biologisesta aktiviteetista eräiden luonnontilaisten ja ojitettujen soiden turpeessa . Summary: Studies on the biological activity in the peat of some virgin and drained swamps. *Suo* 17:77-84.
- Makkonen, K. & Helmisaari, H-S. 1998. Seasonal and yearly variations of fine-root biomass and necromass in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stand. *Forest Ecology and Management* 102:283-290.
- Markkula, I. 1981. Maaperäeläinten vertikaalijakauma luonnontilaisella ja ojitetulla keidasrämeellä. Summary: Vertical distribution of soil animals in a virgin and drained raised bog. *Suo* 32:126-129.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1996. 1997. Metsäntutkimuslaitos. SVT 1996(3). 351 s.
- Mikkola, K. 1976. Piirteitä soiden hyönteisten ekologiasta. Summary: Ecological aspects of the insect fauna of Finnish peatlands. *Suo* 27:3-8.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Commun. Inst. For. Fenn.* 84:1-87.
- Mälkönen, E. 1977. Annual primary production and nutrient cycle in a birch stand. *Commun. Inst. For. Fenn.* 91.5. 35 s.
- Mälkönen, E., Derome, J. And Kukkola, M. 1990. Effects of nitrogen inputs of forest ecosystems. Estimation based on long-term forest fertilization experiments. In: P.Kauppi, P. Anttila and K. Kenttämies (eds.), *Acidification in Finland*, pp.325-347. Berlin, Springer Verlag.
- Mälkönen, E. & Levula, T. 1996. Impacts of prescribed burning on soil fertility and regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Julkaisussa: Goldammer, J.G. & Furyaev, V.V. (toim.) *Fire in ecosystems of boreal Eurasia*. Kluwer Academic Publishers, For. Sci. 48:453-464.
- Mälkönen, E. 1998 (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilar tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691:1-278.
- Mälkönen, E., Levula, T. & Fritze, H. 1998. Kulotus maanhoidon menetelmänä. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilar tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691:224-227.
- Nieminen, M. 1998. Changes in nitrogen cycling following the clearcutting of drained peatland forests in southern Finland. *Boreal Environmental Research* 3:9-21.
- Paavilainen, E. 1980. Effect of fertilization on plant biomass and nutrient cycle on a drained dwarf shrub pine swamp. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 98(5) 71 s.

- Paavilainen, E. 1984. Lannoitus ja ravinteiden kierto suometssissä. Summary: Fertilization and nutrient cycle in peatland forests. *Suo* 35:91-93.
- Pakarinen, P. 1975. Turpeen kerrostumisen osuus hiilen kierrossa. Summary: The role of peat accumulation in the carbon cycle. *Luonnon Tutkija* 79:138-144.
- Pennanen, T. 1998. Structure of the microbial communities in boreal coniferous forest humus exposed to heavy metals and changes in soil pH. Academic dissertation, Dept. of Biosciences, Division of General Microbiology, University of Helsinki.
- Pietikäinen, J. & Fritze, H. 1995a. Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification. *Soil Biology and Biochemistry* 27: 101-109.
- Pietikäinen, J. & Fritze, H. 1995b. Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: short-term effects of two different fires. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1275-1285.
- Pätilä, A. & Nieminen, M. 1990. Turpeen emäsravinne- ja rikkitasen karuilla ojitetuilla rämeillä laskeuma huomioon ottaen. Summary: Base cation and sulphur status on drained oligotrophic pine mires considering the atmospheric input. *Folia Forestalia* 759. 16 p.
- Reinikainen, A. 1981a. Metsänparannustoimenpiteiden vaikutuksesta suoekosysteemin kasvibiomassaan ja perustuotantoon. Summary: Effect of drainage and fertilization on plant biomass and primary production in mire ecosystem. *Suo* 32:110-113.
- Reinikainen, A. 1981b. Mallit suoekosystemitutkimuksen ja soiden käytön apuvälineinä. Summary: Models as means in the investigation and use of mire ecosystem. *Suo* 32:141-145.
- Reinikainen, A. & Silfverberg, K. 1983. Significance of whole-tree nutrient analysis in the diagnosis of growth disorders. *Communicationens Instituti Forestalis Fenniae* 116:48-58.
- Reinikainen, A., Lindholm, T. & Vasander, H. (toim). 1981. Ekosysteemitutkimuksia eteläborealisista soista. *Studies on the ecosystem of southern boreal mires. Suo* 32 (4-5):85-145.
- Reinikainen, A., Vasander, H. & Lindholm, T. 1984. Plant biomass and primary production of southern boreal mire-ecosystems in Finland. *Proceedings of the 7th International Peat congress, Dublin. Vol. 4:1-20.*
- Saari, E. 1923. Kuloista etupäässä Suomen valtionmetsiä silmällä pitäen. Tilastollinen tutkimus. Summary: Forest fires in Finland with special reference to state forests. Statistical investigation. *Acta Forestalia Fennica* 26(5): 1-155.

- Sarasto, J. 1957. Metsän kasvattamiseksi ojitettujen soiden aluskasvillisuuden ja rakenteen kehityksestä Suomen eteläpuoliskossa. Referat: Über Struktur und Entwicklung der Bodenvegetation auf für Walderziehung entwässerten Moore in der südlichen Hälfte Finnlands. *Acta Forestalia Fennica* 65(7). 108 s.
- Sarasto, J. 1961. Über die Klassifizierung der für Walderziehung entwässerten Moore. *Acta Forestalia Fennica* 74(5). 47 p.
- Silvola, J. & Hanski, I. 1979. Carbon accumulation in a raised bog: Simulation on the basis of laboratory measurements of CO₂ exchange. *Oecologia (Berl.)* 37:273-283.
- Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. *Acta Forestalia Fennica* 62(4): 1–363.
- Smolander, A., Priha, O., Paavolainen, L., Steer, J. & Mälkönen, E. 1997. Nitrogen and carbon transformations before and after clearcutting in repeatedly N-fertilized and limed forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 30:477-490.
- Tonteri, T., Mikkola, K. & Lahti, T. 1990. Compositional gradients in the forest vegetation of Finland. *Journal of Vegetation Science* 1: 691–698.
- Tuominen, L. 1981. Selluloosan hajoaminen eräillä luonnontilaisilla räme- ja nevatyypeillä. Summary: Decomposition of cellulose in the peat of some pine bogs and fens. *Suo* 32:130-133.
- Vanha-Majamaa, I., Tuittila, E., Tonteri, T. & Suominen, R. 1996. Seedling establishment after prescribed burning of a clear-cut and a partially cut mesic boreal forest fire in Southern Finland. *Silva Fennica* 30(1): 31–45.
- Vanha-Majamaa, I. 1998. Tulen vaikutus taimettumiseen, aluskasvillisuuden sukkessioon ja sienilajistoon. Julkaisussa: Annala, E. (toim.). Monimuotoisuustutkimusohjelman väliraportti (painossa).
- Vasander, H. 1981. Luonnontilaisen keidasrämeen sekä lannoitetun ojikon ja muuttuman ravinnevarat. Summary: Nutrients in an omrotrophic bog ecosystem in the virgin state and after forest improvements. *Suo* 32:137-141.
- Vasander, H. 1990. Plant biomass, its production and diversity on virgin and drained southern boreal mires. Publications from the Department of Botany, University of Helsinki 95 s.
- Vasander, H., Kuusipalo, J. & Lindholm, T. 1994. Vegetation changes after drainage and fertilization in different types of pine mires. Biological research reports from the University of Jyväskylä 38: 112-122.
- Veijalainen, H. 1994. Maa- ja neulasanalyysi suometsien ravinne- ja laskeumatilanteen määrittämisessä Harjavallan ympäristössä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 527:256-270.

Westman, C.-J. 1981. Fertility of surface peat in relation to site type and potential stand growth. *Acta Forestalia Fennica* 172. 77 s.

Hankkeen Metsänraja-alueiden ekologia ja käyttö julkaisut 1994 – 98

- Autio, J.; Käkälä, M.; Myllynen, K.; Rautio, J. & Tasanen, T. 1997. Yllästunturin laskettelurinteiden maisemointitutkimus 1994 – 1997. Metsäntutkimuslaitos, Kolarin tutkimusasema. Oulun yliopisto, Biologian ja maantieteen laitokset. Julkaisematon tilaustutkimus. 55 s + 5 liites.
- Forest, P.-A. 1998. GPS traversing the Scots pine treeline of northern Finland – research and related survey problems. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 87 – 92.
- Gower, C. 1998. The importance of timberline habitat for caribou in North America. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Hagner, M. 1995. Forest Research in Areas close to the Timberline in Sweden. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 217 – 226.
- Hall, P. J. 1995. Restrictions on Forest Management close to the Timberline in North America. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 227 – 236.
- Haveraaen, O. 1995. Restrictions on Forest Management close to the Timberline in Norway. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 237 – 242.
- Helle, T. 1994. Poron laidunnuksen vaikutus metsänrajametsien primäärisukkessioon. Teoksessa: Tasanen, T.; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 60 – 70.
- Hyvönen, E.; Hänninen, E.; Mäkitalo, K.; Penttinen, S.; Siira, M. & Sutinen, R. 1998. Soil properties as determinants of tree species distribution in Finnish Lapland. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Jonsson, T. H. 1998. Sustainable use of northern timberline forests in Iceland. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).

- Juntunen, V. 1998. The research of climatic factors at the arctic treeline of Scots pine. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 93 – 96.
- Kalakoski, M. 1998. The treats of traditional Sami livelihood in timberline forests in Finnish Upper Lapland. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Kallio, P. 1995. Monitoring Timberline Dynamics at the Kevo Subarctic Research Institute in Northern Finland. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 181 – 194.
- Kankaanpää, S. 1998. Northern timberline forests – a review. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Kankaanpää, S. & Vormisto, J. 1998. Sustainable use of northern timberline forests. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 125 – 135.
- Leikola, M. 1995. Restrictions on Forest Management close to the Timberline in Finland. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 243 – 248.
- Listov, A. A. & Semyonov, B. A. 1995. Nature and Rational Use of Pretundra Pine Forests in the European Part of the USSR. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 211 - 216.
- Lovén, L. 1996. Ympäristömuutoksen tutkimus metsänrajalla – sään ja ilman laadun mittaus Pallaksella. Tieteen tori –artikkeli. Folia Forestalia 3: 287 – 289.
- Lovén, L. & Kleinhenz, B. 1997. National park as research area for monitoring environmental change. In: Lovén, L. & Salmela, S. Pallas-Symposium 1996. Proceedings of the research symposium held in the Pallas-Ounastunturi National Park on 10.-11.10.1996. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 623: 7 - 12.
- Luomajoki, A. 1994. Kuusen ja männyn leviämishistorian ja ilmastoon sopeutumisen vaikutuksia. Teoksessa: Tasanen, T; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 16 – 22.

- Lysenko, I. 1998. Compilation of timberline forests digital map and poster. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Makarova, O. 1998. Brief description of Pasvik Nature Reserve. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 101 – 102.
- Mäkitalo, K.; Sutinen, R.; Hyvönen, E.; Pulkkinen, E.; Päänttjä, M & Sutinen, M-L. 1994. Määrääkö maaperä kuusen polaarisen metsänrajan Pohjois-Lapissa? Teoksessa: Tasanen, T; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 35 – 48.
- Neuvonen, S.; Virtanen, T. & Nikula, A. 1998. Timberline, insect pests and minimum winter temperatures; applications of GIS. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 17 – 22.
- Norokorpi, Y. 1994. Havumetsänrajan sijainnin määräytyminen Suomessa. Teoksessa: Tasanen, T; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 7 – 15.
- Norokorpi; Y., Lähde, E. & Laiho, O. 1998. Forest management in the northern timberline forests. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Numminen, E. 1995. Seed Production of Scots Pine close to the Timberline in Finland. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 195 – 200.
- Okkotetto, M. & Forbes, B. 1998. Conflicts between Yamal-Nenets reindeer husbandry and petroleum development in the forest-tundra and tundra region of Northwest Siberia. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Pagnan, J. 1998. The role of tourism in the northern timberline forests. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.) 1995. Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567.

- Ruotsalainen, S. 1998. Experiences on forest genetics under timberline conditions. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 43 – 66.
- Schmidt-Vogt, H. 1995. Structure and Dynamics of Natural Conifer Forests Near the Upper Forest Limit. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 175 - 180.
- Semenov, B. & Ogibin, B. 1998. Determination of the border between pretundra and taiga forest zones in the northeastern part of European Russia. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 103 – 106.
- Seppänen, T. & Norokorpi, Y. 1998. The location of the coniferous timberline in the Pallas Ounastunturi National Park. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 67 – 74.
- Siekinen, A. 1998. Treatment of forests in the proximity of the timberline in Finland. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 119 – 124.
- Sihvo, J. 1998. Northern Lapland nature survey. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Paper: 677: 97 – 100.
- Sippola, A-L; Siitonen, J. & Kallio, R. 1994. Kovakuoriaislajiston monimuotoisuus pohjoisissa metsänrajametsissä. Teoksessa: Tasanen, T; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994 Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 71 – 79.
- Sippola, A-L. & Renvall, P. 1998. Wood decomposing fungi and seed-tree cutting: A 40-year perspective. *Forest Ecology and Management* 4524 (1998): 1 - 19.
- Sippola, A-L.; Siitonen, J. & Kallio, R. 1998. Amount and Quality of Coarse Woody Debris in Natural and Managed Coniferous Forests near the Timberline in Finnish Lapland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 13: 204 – 214.
- Sirén, G. 1994. Piirteitä Ylä-Lapin puu- ja metsänrajan siirtymisestä 1900-luvulla. Teoksessa Tasanen, T; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 23 – 34.

- Sirén, G. 1995. Reforestation Experiments at the Pine Timberline in Northernmost Finland. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 249 – 260.
- Sirén, G. 1998. Results and conclusions of pine advance in subarctic Finland in the 20th century. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf SirËn symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 7 - 16.
- Sirois, L. 1998. The sustainability of development in Northern QuËbec Forests: Social opportunities and ecological challenges. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Stark, S. 1998. The effects of reindeer on soil nitrogen and carbon dynamics. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Suliandziga, P. 1998. Ussuri taiga and indigenous peoples: the passed, present and future. (History of Udege people from Bikin, Khor, Samarga regions. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Sutinen, M-L; Repo, T.; Lasarov, H.; Sutinen, S.; Alvila, L. & Pakkanen, T. T. 1998. Physiological changes in needles of *Pinus sylvestris* during late winter under sub-arctic conditions. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf SirËn symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 23 – 30.
- Hyvönen, E.; Hänninen, E.; Mäkitalo, K.; Penttinen, S.; Siira, M. & Sutinen, R. 1998. Soil properties as determinants of tree species distribution in Finnish Lapland. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Tasanen, T. 1996. Metsänrajan ja sen tutkimuksen kehitysnäkymiä. Tieteen tori –artikkeli. Folia Forestalia 3: 290 – 295.
- Tasanen, T.(ed.) 1998. Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf SirËn symposium in Wilderness Center Inari, September 4. – 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677. 137 s.
- Tasanen, T. 1998. Timberline research in Finland. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).

- Tasanen, T., Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539. 145 s.
- Tasanen, T. & Veijola, P. 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena kirjallisuuskatsaus. Teoksessa Tasanen, T.; Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 80 – 145.
- Tasanen, T., Norokorpi, Y.; Sepponen, P. & Juntunen, V. 1998. Monitoring timberline dynamic in northern Lapland. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. - 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 75 – 86.
- Tillman-Sutela, E.; Kauppi, A. & Sahlén, K. 1998. Effect of disturbed photoperiod on the surface structures of ripening Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seeds. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. - 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 31 – 36.
- Timonen, M. 1998. Dendrochronological analysis at pine timberline. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. - 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 37 – 42.
- Tuhkanen, S. 1998. The northern timberline in relation to climate. In: Sustainable Development in Northern Timberline Forests. Proceedings of the Timberline Workshop, May 10 – 11, 1998 in Whitehorse, Canada. The Finnish Forest Research Institute. Research papers. (In print).
- Worrell, R. & Malcom, D. C. 1995. The Effects of Elevation on Sitka Spruce Productivity in Scotland. In: Ritari, A.; Saarenmaa, H.; Saarela, M. & Poikajärvi, H. (ed.). Northern Silviculture and Management. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 567: 207 – 210.
- Veijola, P. 1994. Venäjän metsänrajametsien käytön kehitysnäkymiä. Teoksessa: Tasanen, T. & Varmola, M. & Niemi, M. (toim.) 1994. Metsänraja tutkimuksen kohteena. Tutkimuspäivä Ylläksellä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 539: 49 – 59.
- Veijola, P. 1998a. The northern timberline and timberline forests in Fennoscandia. The Finnish Forest Research Institute. Research papers 672. 242 s.
- Veijola, P. 1998b. Suomen metsänrajametsien käyttö ja suojelu. 692. 173 s. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 692. 173 s.
- Veijola, P. 1998c. The main features of the timberlines in the Baikal area. In: Tasanen, T. (ed.). Research and management of the northern timberline region. Proceedings of the Gustaf Sirén symposium in Wilderness Center Inari, September 4. - 5. 1997. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 677: 107 – 118.

Hankkeen UV-säteily ja metsänrajan kasvit julkaisut:

Sutinen, M.-L., Holappa, T. & Kujala, K. 1998. Seasonal changes in soil temperature and snow-cover under different simulated winter conditions: comparison with frost hardiness of Scots pine (*Pinus sylvestris*) roots. The 11th Congress of the Federation of European Societies of Plant Physiology, 7-11 September 1998, Varna, Bulgaria. *Bulgarian Journal of Plant Physiology Special(Issue)*: 281.

Sutinen, M.-L., Holappa, T. & Kujala, K. 1998. Seasonal changes in soil temperature and snow cover under different simulated winter conditions: comparison with frost hardiness of Scots pine (*Pinus sylvestris*) roots. In: COST - Action E6 & EUROSILVA, Forest Tree Physiology Research, Workshop on Tree Growth at High Altitude and High Longitude, September 10-14, 1998, at Obergurgl, Austria. Programme and abstracts. 43 s.

Sutinen, M.-L., Repo, T., Lasarov, H., Sutinen, S., Alvila, L. & Pakkanen, T.T. 1998. Physiological changes in needles of *Pinus sylvestris* during late winter under sub-arctic conditions. In: Wind and Other Abiotic Risks to Forests, 10-14 August 1998, Joensuu, Finland. IUFRO conference abstracts. 41 s.

Turunen, M., Sutinen, M.-L., Norokorpi, Y., Huttunen, S. & Heller, W. 1998. Response of timberline plants to UV-radiation. In: First International Symposium on The State and Use of Science and Predictive Models. Denver, Colorado, USA 26-27 August 1998. Final Program and Abstracts. 3.02 s.

